Aus der Abteilung für Sportphysiologie und Sportmedizin
der Universität Tübingen
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. D. Jeschke

KÖRPERLICHE BELASTUNG DURCH EINE BEWEGUNGSTHERAPIE ZUR FRÜHMOBILISATION VON HERZINFARKTPATIENTEN

INAUGURAL – DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard–Karls–Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

HANS - ERBERHARD STREICH
aus Ebingen

1978

Aus der Abteilung für Sportphysiologie und Sportmedizin
der Universität Tübingen
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. D. Jeschke

KÖRPERLICHE BELASTUNG DURCH EINE BEWEGUNGSTHERAPIE ZUR FRÜHMOBILISATION VON HERZINFARKTPATIENTEN

INAUGURAL – DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard–Karls–Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

HANS - ERBERHARD STREICH
aus Ebingen

1978

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. H.-E. Hoffmeister

Berichterstatter: Professor Dr. D. Jeschke

---

gedruckt bei Hans - Joachim Köhler, Reprografischer Betrieb , 74 Tübingen

Für seine unermüdliche Unterstützung möchte ich Herrn Professor Dr. D. Jeschke ganz herzlich danken.

Inhaltsverzeichnis

I Einleitung und Fragestellung 1

II Methodik 4

II.1 Krankengymnastisches Übungsprogramm

II.2 Durchführung des krankengymnastischen Übungsprogramms 7

II.3 Probandengut

II.4 Meßmethodik 8

II.4.1 Bestimmung des Atemminutenvolumens und der Sauerstoffaufnahme

II.4.2 Bestimmung der Herzfrequenz..... 11

II.4.3 Registrierung der Meßdaten

II.5 Auswertung..... 14

II.6 Statistische Berechnungen 15

III Ergebnisse 17

III.1 Energetischer Umsatz bei der krankengymnastischen Übungsbehandlung

III.1.1 Energieumsatz bei Belastungsphasen

III.1.2 Maximale Energieumsätze bei Belastungsstufen 28

III.1.3 Belastungsdauer, Belastungsintensität und gesamter Arbeitsumsatz 30

III.2 Herzfrequenz und energetischer Umsatz während der Belastung 32

III.2.1 Herzfrequenz bei Belastungsphasen ... 32
III.2.2 Verhalten der maximalen Herzfrequenz bei Belastungsstufen 33
III.3 Atemminutenvolumen, Sauerstoffausschöpfung und Sauerstoffverbrauch 36
III.4 Befunde bei einem Infarktpatienten auf der Belastungsstufe XI 37
IV Diskussion 38
IV.1 Diskussion der Methode
IV.1.1 Gerät zur kontinuierlichen telemetrischen Bestimmung des Energieumsatzes
IV.1.2 Belastungsbeurteilung 42
IV.2 Diskussion der Ergebnisse 45
V Zusammenfassung 53
VI Tabellenanhang 54
VII Literaturverzeichnis 69

I Einleitung und Fragestellung

Das therapeutische Prinzip der Frührehabilitation von Herzinfarktkranken besteht in einer baldmöglichsten, der klinischen Situation der Patienten angepaßten Mobilisation. Nach dem Konzpt von Newman and al. (35), das in das Rehabilitationsprogramm der WHO (48) aufgenommen wurde, kommt dabei einer stufenweisen Steigerung der Belastung eine zentrale Bedeutung zu.
Vergleichsstudien in- und ausländischer kardiologischer Zentren (8, 9, 15, 42, 45) zeigen an Hand der Mortalitäts- und Komplikationsraten, daß eine Frühmobilisation nach Herzinfarkt nicht mit einem größeren Risiko verbunden ist als die Spätmobilisation. Dennoch ist die Frühmobilisation nach wie vor umstritten (16, 17). Ein Grund dafür dürfte in der Unsicherheit über die Belastung und Dosierbarkeit des krankengymnastischen Übungsprogramms liegen.

Der klinische Befund bei Körperruhe des Patienten erlaubt auch bei Fehlen schwerwiegender hämodynamischer Veränderungen oder Rhythmusstörungen des Herzens keine sichere Aussage über die verbliebene myocardiale Funktion (23, 24). Es ist zu befürchten, daß unkontrollierte Bewegungsreize die funktionellen Reserven überschreiten und unter Umständen zu letalen Komplikationen führen. Deswegen ist es notwendig, daß die Belastungen prospektiv der sich im Krankheitsverlauf wandelnden myocardialen Leistungsfähigkeit und auch der individuellen klinischen

Situation angepaßt werden können. Dazu wurden bereits von der WHO (48) Vorschläge für ein dosierbares Übungsprogramm erarbeitet, das von Jeschke und Mitarbeitern (23, 24, 27) weiterentwickelt wurde.

Diese Autoren legten ebenfalls Untersuchungen zur Frage der Dosierbarkeit vor. Als Parameter der Belastung wurden die Arbeitsherzfrequenzen herangezogen. Jeschke (23) wies aber darauf hin, daß eine volle Beurteilung des empirisch gewonnenen Programmaufbaus nur durch eine Untersuchung des energetischen Umsatzes während der Übungsbehandlung möglich ist, da nach Reindell (37) und anderen (12, 20, 40) Rückschlüsse aus der Arbeitsherzfrequenz auf den energetischen Aufwand gerade bei älteren Personen nicht mehr möglich sind. Eine gesicherte Korrelation zwischen Arbeitspulsfrequenz und Energieumsatz ist spätestens ab dem 60. Lebensjahr nicht mehr gegeben.

Hinweise auf die Intensität der Belastung durch frühmobilisatorische Maßnahmen liegen von Hellerstein (18) vor. Er erwartet, daß in der ersten Woche 1 - 2 METS und während des restlichen Krankenhausaufenthaltes 2 - 3 METS nicht überschritten werden.

Obwohl die Krankengymnastik in der Inneren Medizin sehr vielseitig eingesetzt wird, sind detailierte Untersuchungen z.B. des Herz- und Kreislaufverhaltens oder des energetischen Umsatzes bisher nur von Groh und Drasche (13) sowie für einzelne krankengymnastische Übungen von Weiss und Mitarbeitern (46) bekannt. Kontinuierliche

Untersuchungen über ein aus differenten Übungsteilen bestehendes Behandlungsprogramm liegen vor.
Es war deshalb das Ziel dieser Arbeit, bei einem detailliert ausgearbeiteten krankengymnastischen Übungsprogramm, das eine stufenweise Mobilisation von Herzinfarktpatienten vorsieht, den Energieumsatz im Hinblick auf folgende Fragen zu untersuchen:

1) Wie hoch ist die Belastungsintensität und Gesamtbelastung? Ergeben sich Belastungsspitzen, die unter Umständen zu einer Korrektur des Übungsprogramms führen müssen?
2) Wird das Ziel einer zunehmenden Belastung im Mobilisationsverlauf erreicht? Werden die Forderungen nach einer Dosierbarkeit erfüllt, so daß eine Anpassung an die individuelle Leistungsfähigkeit und klinische Situation des Patienten gewährleistet ist?

II Methodik

II.1 Krankengymnastisches Übungsprogramm

Entsprechend den WHO-Empfehlungen (48) wurde an der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen ein zwölfstufiges krankengymnastisches Übungsprogramm zur Frühmobilisation entwickelt (23, 24, 25, 28).
Das Übungsprogramm wird analog einem Intervalltraining durchgeführt. In den Stufen I bis IV beträgt die Arbeitsphase 1/2 Min und die Erholungsphase 1 Min. In den Stufen V bis VIII ist das Verhältnis Arbeits- zu Erholungsphase 1 Min zu 1 Min, in den Stufen IX bis XII 1 Min zu 1/2 Min.

Die Intensität der Belastung wird durch die Aktivierung immer größerer Muskelgruppen bei dynamischer und statischer Arbeit gesteigert. Die Stufen I bis IV finden in der "Entlastung", d.h. im Liegen statt, ab Stufe IV beginnt die "Halbbelastung" mit Hockergymnastik und ab Stufe VII kommen Übungen in der "Vollbelastung", d.h. Übungen im Gehen und Stehen, hinzu. Lagewechsel, und damit orthostatische Belastungen, finden sich ab Stufe IV (Liegen - Sitzen) und ab Stufe VI (Sitzen - Stehen). Isometrische Kontraktionen sind über eine Dauer von etwa 3 - 5 Sekunden vorgesehen. Um Pressatmung zu vermeiden, soll der Patient hörbar zählen.-
Das Schema des Programmaufbaus geht aus Abb. 1 hervor. Detailangaben über das Frühmobilisationsprogramm finden

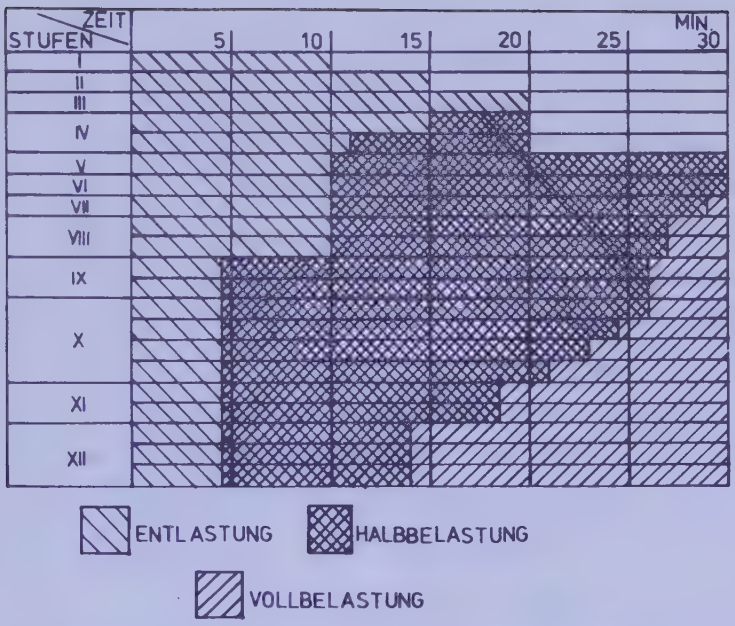


Abb. 1 Schema des krankengymnastischen Übungsprogramms (Jeschke 23).

Ordinate: Belastungsstufen, 1 Querspalte entspricht 1 Tag.

Abszisse: Behandlungsdauer in Minuten.

sich in Arbeiten von Jeschke (23, 25, 26, 28).

Auf den einzelnen Belastungsstufen wurden folgende Übungen durchgeführt:

a = aktive Fußbewegungen (Beugen und Strecken beider Füße, Fußkreisen)

b = Muskelmantelspannung beider Beine

c = große aktive Beinbewegungen im Wechsel (Beugen - Strecken, Abspreizen, gestreckt Anheben, Beinkreisen)

d = Spannungsübungen der Arm-, Schulter- und Nackenmuskulatur

e = beidseitige aktive Armbewegungen (Heben - Senken, Beugen - Strecken, Kreisen)

f = Spannungsübungen des Gesamtkörpers (Längs- und Diagonalspannung)

g = Stabilisationsübungen

h = Oberkörperdreh- und -beugeübungen

i = Aufstehen und Hinsetzen, langsames Tempo

k = Aufstehen in raschem Tempo

l = Gehen in langsamem Tempo

m = Gehen mit Tempovarianten

n = Treppensteigen

Auf das Übungsprogramm sind die Eigenaktivitäten der Patienten abgestimmt. Sie werden in Tabelle IX näher erläutert.

II.2 Durchführung des krankengymnastischen Programms

Aus organisatorischen Gründen wurden die Behandlungsstufen I - IV, V - VIII, IX + X und XI + XII zu jeweils einer Sitzung zusammengefaßt. Zwischen den einzlnen Belastungsstufen wurden so lange Ruhepausen eingehalten, bis die Arbeitsreaktionen am kardiopulmonalen System (Herzfrequenzerhöhung, Steigerung des O_2-Verbrauchs) sich normalisiert hatten. Vor Versuchsbeginn lagen die Personen 20 Minuten in entspanntem Wachzustand auf einer Couch, um Ruhebedingungen und eine Adaption an die Geräte zu erreichen.- Übungen, die auf verschiedenen Belastungsstufen identisch waren (Übungen in "Entlastung" auf Stufe V, VI, VII, VIII und auf Stufe IX, X, XI und XII, Übungen in "Halbbelastung" auf Stufe VI und VII), wurden nur einmal bei jedem Probanden überprüft.

II.3 Probandengut

Die Untersuchung des energetischen Umsatzes wurde nur an gesunden Versuchspersonen vorgenommen, da die psychische und physische Belastung durch die Versuchsmaßnahmen Infarktpatienten zunächst nicht zumutbar erschien. Nur bei einem Patienten mit transmuralem Vorderwandinfarkt (55 Jahre, 96 kg, 176 cm, digitalisiert, bisher komplikationsloser Mobilisationsverlauf) wurde auf Stufe XI neben der telemetrischen EKG-Kontrolle der Energieauf-

wand mituntersucht.
Bei den gesunden untersuchten Versuchspersonen handelte es sich um 6 Männer und 4 Frauen im Alter zwischen 21 und 60 Jahren; das Durchschnittsalter betrug 35,5 Jahre. Als mittleres Gewicht ergaben sich 66,7 kg bei einer mittleren Größe von 174 cm.

II.4 Meßmethodik

II.4.1 Bestimmung des Atemminutenvolumens und der Sauerstoffaufnahme

Zur Bestimmung des Atemminutenvolumens (AMV) und der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$) wurde der Oxycon P (Firma Mijnhard, Odijk, Holland. Vertrieb in der Bundesrepublik Deutschland Firma Hellige, Freiburg) verwendet.
Das Gerät wiegt 6,4 kg und kann mit Schultertrageriemen und einer speziellen Tragevorrichtung bequem auf dem Rücken der Versuchsperson angebracht werden. Diese trägt eine Maske mit geringem Totraum (Firma Erich Jaeger, Würzburg, Roentgenring 57). Über zwei Einlaßventile atmet die VP Außenluft. Die Exspirationsluft gelangt durch ein Auslaßventil über einen 98 cm langen Schlauch in die Gasuhr (Abb. 2), die nach dem Prinzip einer trokkenen Respirationsgasuhr aufgebaut ist. Ihre Kapazität beträgt 2 l (5, 6, 32, 34). Eine Lochscheibe, die in einem Lichtstrahl rotiert, vermittelt über eine Photozelle die mechanoelektrische Koppelung, wobei 0,1 l Durchfluß einem elektrischen Impuls entspricht (5, 6, 19).

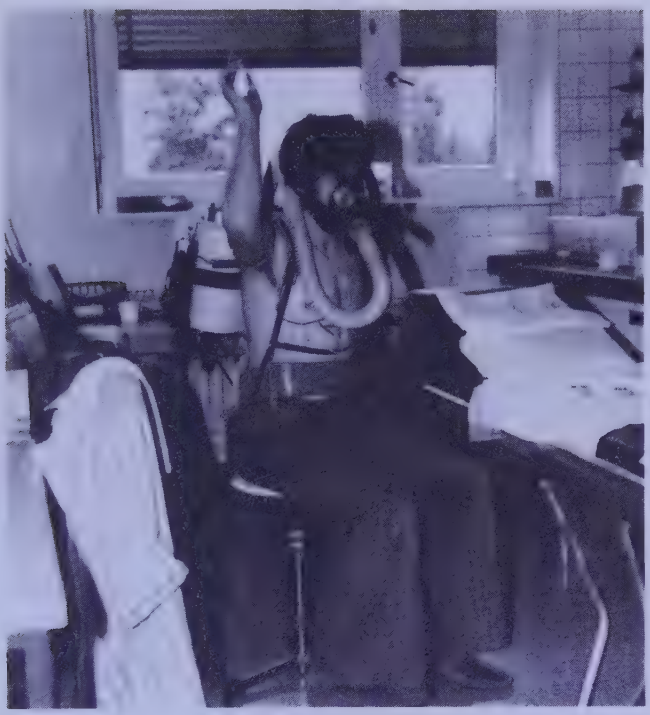


Abb. 2 Versuchsperson bei der Übung "große aktive Armbewegungen" in "Halbbelastung". Oxycon P und Sender auf dem Rücken der Versuchsperson, über zwei Einlaßventile atmet die VP Außenluft, die Exspirationsluft gelangt durch ein Auslaßventil über einen 98 cm langen Schlauch in die Gasuhr.

Die Atemwiderstände werden vom Hersteller mit 15 mm Wassersäule bei 50 l / Minute Durchfluß angegeben (32) und stimmen damit mit den Daten der Respirationsgasuhr des Max-Planck-Institutes für Arbeitsphysiologie in Dortmund (34) überein, die schon mehrfach zu physiologischen Untersuchungen verwendet wurde.
Der Sauerstoffanalysator des Oxycon P stellt ein galvanisches Element dar, wobei die Anode aus Blei, die Kathode aus Silber besteht. Diese beiden Metalle sind stabil und verhalten sich bei Stromdurchfluß passiv. Die Silberkathode wird durch das Meßgas (O_2), das durch eine Teflonmembran in die Zelle diffundiert, polarisiert. Unterstützend wirkt ein gutleitender Elektrolyt. Der Stromdurchfluß durch die Zelle ist ein Maß für die Reduktion oder Oxidation an der Elektrode (19). Die Sauerstoffkonzentration der Inspirations- (Außenluft) und Exspirationsluft wird durch eine Doppelmeßzelle nach dem polarographischen Prinzip gemessen. Die beiden Meßzellen sind in einem Block zusammengebaut und damit thermisch gekoppelt. Wird die Ausgangsspannung an beiden Systemen konstant gehalten, so entspricht das Verhältnis der beiden Stromstärken dem Verhältnis der beiden Sauerstoffkonzentrationen. Die O_2-Konzentration der eingeatmeten Luft ist bekannt (20,93 % O_2), so daß die Abweichung der ausgeatmeten Luft direkt als Sauerstoffdifferenz ΔO_2 % angezeigt werden kann (5, 19).

Der Oxycon P wurde an eine Dreikanaltelemetrie-

anlage der Firma Hellige (Firma Hellige, 78 Freiburg im Breisgau, Heinrich von Stephan-Straße 4) adaptiert und so eine nicht stationsgebundene Untersuchungsmöglichkeit geschaffen.

II.4.2 Bestimmung der Herzfrequenz

Über das telemetrische System erfolgte gleichzeitig die Übertragung des Elektrokardiogramms (EKG). Als Ableitung wurde die X-Ableitung nach Frank gewählt, die sich in der Klinik bei der Routinetelemetrie bewährt hatte (23, 24, 25, 27). Das EKG konnte zusätzlich auf dem Kardioskop beobachtet werden.

II.4.3 Registrierung der Meßdaten

Folgende Meßdaten wurden auf dem Heloscriptor HE 17 (Hellige Programm 19) mit einem Papiervorschub von 2,5 mm pro Sekunde registriert (Abb. 3, Abb. 4):

1) Das exspiratorische Atemhubvolumen: Jeder Pik auf der Heloscriptoraufzeichnung entsprach 100 ml Durchfluß. Durch die Auszählung der Piks pro Minute konnte das Atemminutenvolumen (AMV) bestimmt werden.
2) Die Sauerstoffdifferenz zwischen Exspirationsluft und Außenluft ΔO_2 %: Da die Aufzeichnung der O_2-Differenz analog erfolgte, reichte eine Zweipunkteichung (0 Vol. %, 20,93 Vol. %) zur Auswertung aus.
3) Aus dem EKG wurde die Herzfrequenz durch Auszählung von 10-RR-Abständen bestimmt.

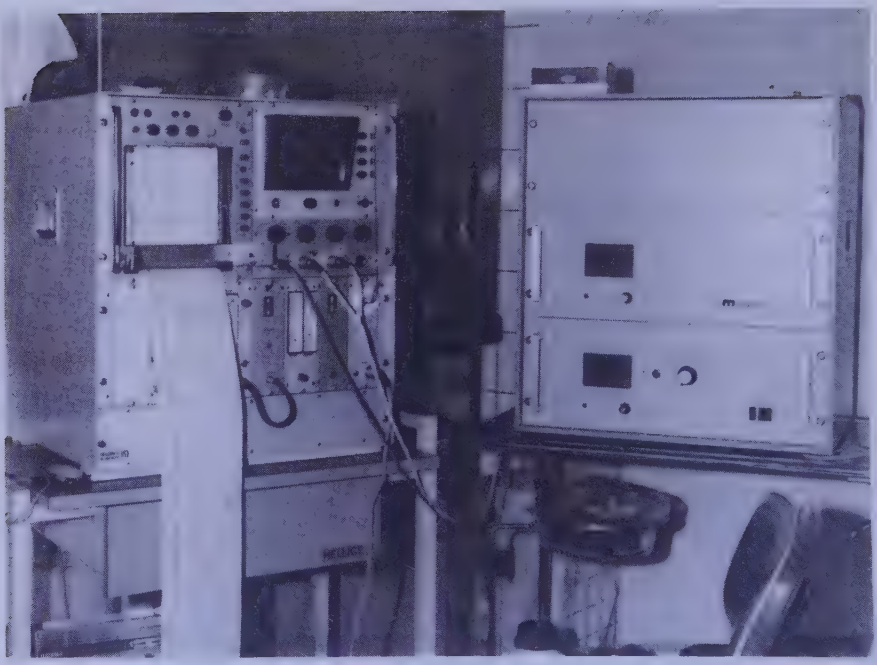


Abb. 3 Links: Hellige Programm 19 (Heloscriptor HE 17, Empfänger, Kardioskop)
Rechts: Damit gekoppelt stationärer Teil des Oxycon P, einminütige Digitalanzeige des AMV und des ΔO_2 %.

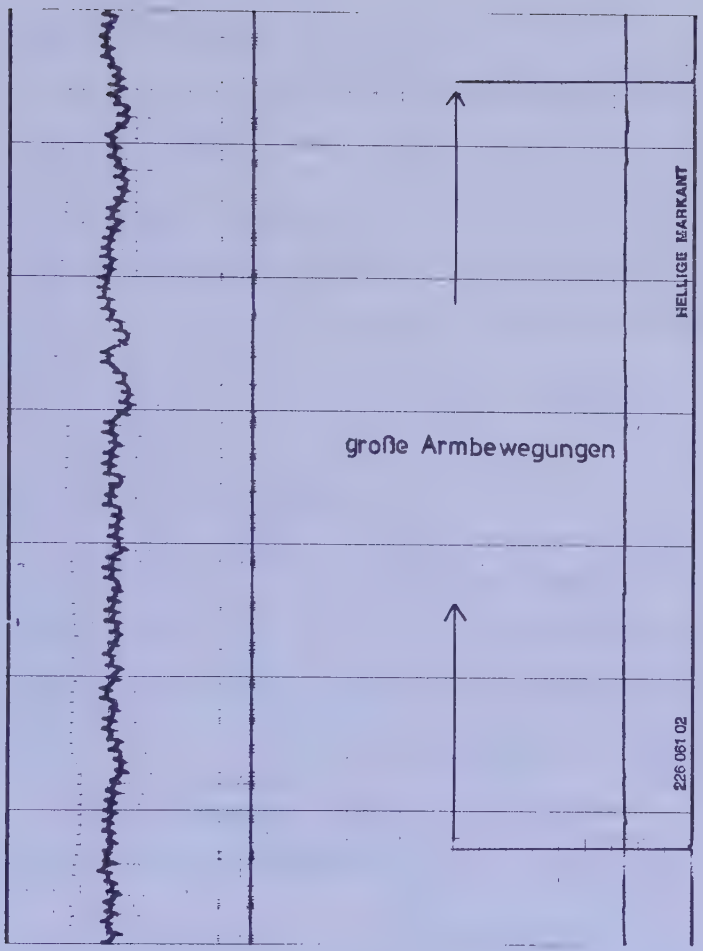


Abb. 4 Beispiel der mittels Heloscriptor HE 17 registrierten Parameter

4) Die Art der Übungen wurde markiert. Damit war eine genaue Zuordnung der unter 1 - 3 genannten Parameter zur Art der Übungsbelastung gewährleistet.

Zusätzlich wurde auf einem Digitalanzeiger, der als stationärer Teil zum Oxycon P gehört, einminütig das Atemminutenvolumen und die Sauerstoffdifferenz zwischen In- und Exspirationsluft angezeigt. Die Werte wurden zur Kontrolle notiert.

II.5 Auswertung

Aus den registrierten Daten wurden folgende Größen, ihre Mittelwerte und Standardabweichungen für die 10 Versuchspersonen berechnet:

1) Die Herzfrequenzen in Ruhe und die maximalen Arbeitsherzfrequenzen der einzelnen Übungen in jeder Belastungsphase ("Entlastung", "Halbbelastung", "Vollbelastung", orthostatische Belastung).
2) Das kontinuierlich bestimmte Atemminutenvolumen (l/Minute) in Ruhe und bei Belastung unter BTPS-Bedingungen (34, Tab. 56).
3) Die Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$ in ml/Minute) aus der Sauerstoffdifferenz zwischen In- und Exspirationsluft und dem dazugehörenden AMV unter STPD-Bedingungen (34, Tab. 58).
4) Die relative O_2-Aufnahme bezogen auf das kg Körpergewicht (ml/kg/Minute).

5) Der Energieaufwand in METS (metabolic equivalents). Diese Einheit wurde vom American College of Sportsmedicine zur Vereinheitlichung der Terminologie in der Leistungsphysiologie vorgeschlagen (1). Die Einheit ist definiert als das ganzzahlige Vielfache des Ruheumsatzes. 1 MET entspricht dem Ruhesauerstoffverbrauch pro kg Körpergewicht pro Minute. Dieser wurde von uns aus den Mittelwerten jeder Versuchsperson für die letzten 5 Ruheminuten vor Versuchsbeginn auf Stufe I ermittelt und für den Vergleich der Energieumsatzwerte auf den verschiedenen Belastungsstufen herangezogen.
6) Der Energieverbrauch in Kalorien (Cal). Die Maximalwerte des Energieverbrauchs wurden in Kalorien umgerechnet, um einen Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen anderer Autoren zu ermöglichen. Es wurde laut Kohn (31) angenommen, daß 1 l Sauerstoffverbrauch 5 Cal entspricht.

II.6 Statistische Berechnungen

Mit den ermittelten Werten für den Energieverbrauch wurden vier zweifache Varianzanalysen (ein Wert pro Fach) ausgeführt. Gleichzeitig wurden die Varianzen mit Hilfe des Hartley-Testes auf Signifikanz geprüft. Als gesicherter Unterschied galt, wenn die Vertrauenswahrscheinlichkeit 0,95 erreichte oder überschritt.

Alle zweifachen Varianzanalysen setzten sich aus einem festen Faktor A (Belastungsstufen I - XII) und einem zufälligen Faktor B, den Versuchspersonen (n = 10) zusammen. Zeigte die Varianzanalyse (Manteltest) einen signifikanten Ausfall des F-Testes, so wurde anschließend die paarweise Testung simultan mit Hilfe des Scheffé-Testes ausgeführt.
Die Berechnungen wurden auf einer CD 3300 Anlage des Zentrums für Datenverarbeitung der Universität Tübingen (Direktor: Prof. Dr. M. Graef) durchgeführt +.

+ Herrn Dr. Rietsch vom Institut für medizinische Biometrie der Universität Tübingen danke ich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung, ebenso Herrn G. Schubring und Herrn H. P. Schill für die Durchführung der Berechnungen.

III Ergebnisse

III.1 Energetischer Umsatz bei der krankengymnastischen Übungsbehandlung

III.1.1 Energieumsatz bei Belastungsphasen

Für die Bestimmung des metabolischen Umsatzes in METS wurde die Ruhesauerstoffaufnahme jeder einzelnen VP zugrundegelegt. Der durchschnittliche Sauerstoffverbrauch bei Körperruhe im Liegen schwankte auf den Belastungsstufen I bis X zwischen 3,44 ± 0,4 ml/kg/Min und 3,72 ± 0,4 ml/kg/Min nur unwesentlich. Er lag ab Stufe XI mit 4,39 ± 0,6 ml/kg/Min deutlich höher, da offenbar eine vollständige Rückkehr zur Ruhe noch nicht erreicht war.

a) "Entlastung"

In der "Entlastung" zeigte sich auf den Stufen I bis III (Abb. 7-9) ein langsamer, stetiger Anstieg des Energieumsatzes. Ein Höhepunkt wurde nach ungefähr zehn Minuten erreicht; auf Stufe I bei der statischen Übung "Muskelmantelspannung der Beine" (b) (1,46 ± 0,2 METS), auf den Stufen II und III bei der dynamischen Übung "Große aktive Beinbewegungen" (c) (1,87 ± 0,2 METS). Bei den folgenden Belastungsstufen war der initiale Anstieg etwas steiler. So wurde auf Stufe IV (Abb. 10) nach 6 Minuten, auf Stufe V (Abb. 11) nach 5 Minuten und auf Stufe IX (Abb. 14) nach 2 Minuten ein Belastungsgipfel erreicht, der dem Übungsteil "Große aktive Beinbewegungen" (c) entsprach. Der Mittelwert des

Energieumsatzes der 10 VP stieg auf 2,00 ± 0,3 METS an. Für die restliche Dauer der Übungen in der "Entlastung" pendelten sich die Werte auf einem nur geringfügig niedrigeren Niveau ein.

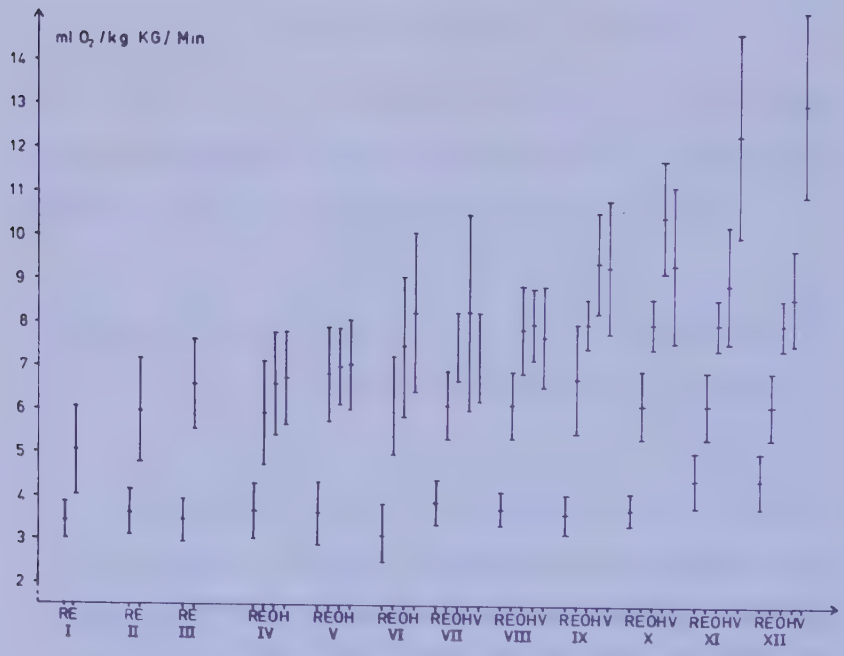


Abb.5 Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme / kg Körpergewicht / Minute in Ruhe (R) und bei Übungen in "Entlastung" (E), "Halbbelastung" (H), "Vollbelastung" (V) und unter orthostatischer Belastung (O) während des zwölfstufigen Übungsprogramms.

Beim Vergleich der Maximalwerte auf den einzelnen Stufen (Abb. 6, Abb. 18, Tab. I) zeigte sich eine annähernd lineare Zunahme des Energieverbrauchs von Stufe I bis III. Von Stufe IV bis XII ergaben sich dagegen nur noch kleine Schwankungen. - Die Maximalwerte waren auf sämtlichen Stufen gegenüber den Ruhewerten statistisch signifikant erhöht ($\alpha = 0{,}05$). Zwischen den einzelnen Stufen ließen sich keine Unterschiede sichern.

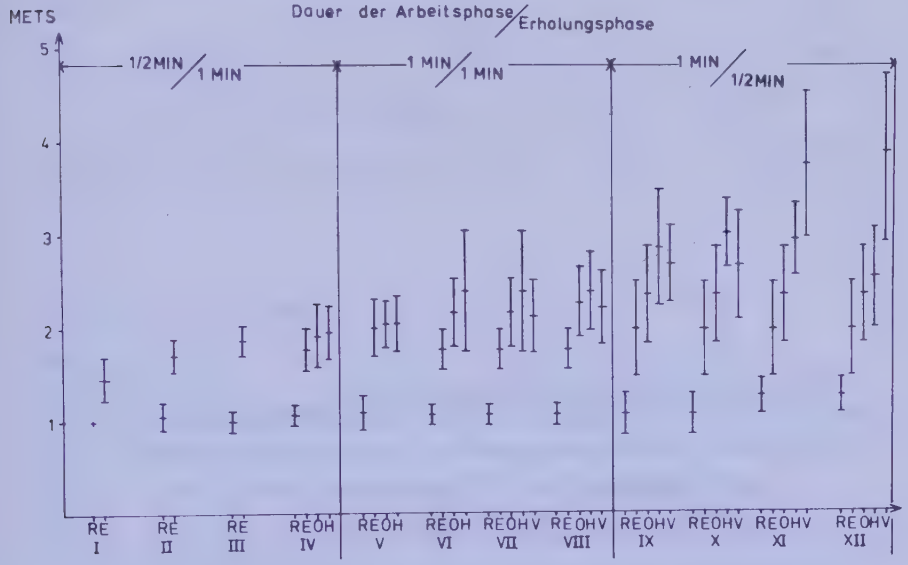


Abb. 6 Mittelwerte und Standardabweichung des maximalen Energieverbrauchs in METS (Ordinate) bei Übungen in "Entlastung" (E), "Halbbelastung" (H), "Vollbelastung" (V) sowie unter Einfluß orthostatischer Belastung (O) auf den Belastungsstufen des Übungsprogramms. R = Energieverbrauch bei Körperruhe im Liegen (Abszisse).

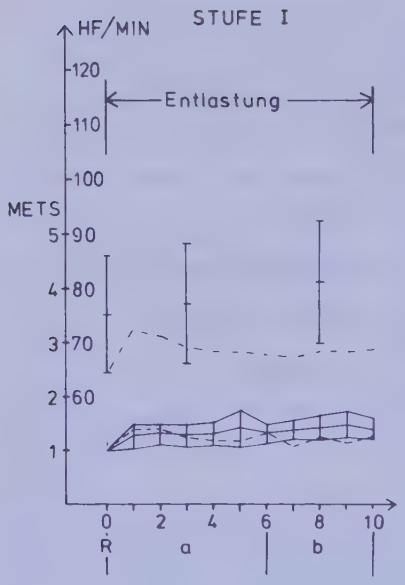


Abb. 7

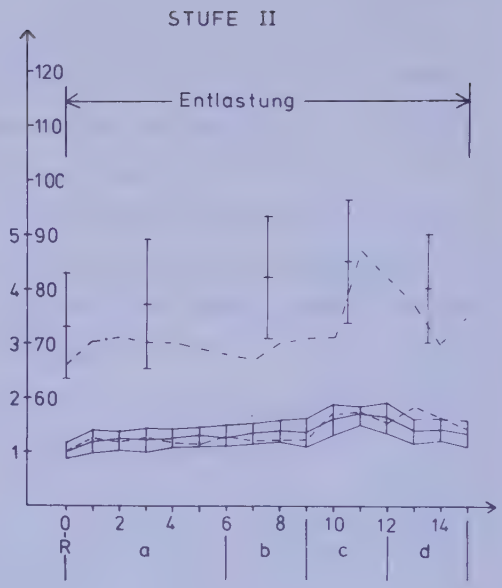
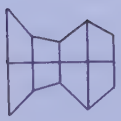


Abb. 8

Gemeinsame Legende zu den Abb. 7 - 17

ORDINATE Energieverbrauch in METS bzw. Herzfrequenz

ABSZISSE Zeit in Minuten und Zuordnung zu den einzelnen Übungsteilen. Bedeutung der Buchstabensymbole siehe Seite 6.



Mittelwerte und Standardabweichung der Energieumsatzwerte in METS. N = 10

Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzmaximalwerte bei den einzelnen Übungsteilen

Zusätzlich wurde in den Abbildungen das Verhalten des Arbeitsumsatzes - - - - - und der minütlich bestimmten Herzfrequenzen -·-·-·-·- einer einzelnen VP (♂,178 cm, 67 kg, 56 J.) dargestellt.

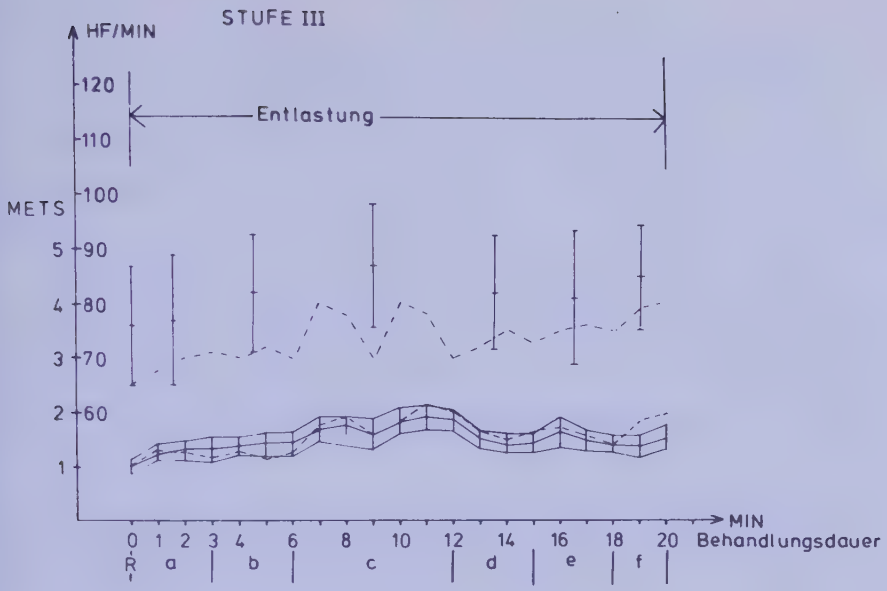


Abb. 9

b) "Halbbelastung"

Auf den Stufen IV und V (Abb. 10 und 11) war bei den Übungen in "Halbbelastung" nur eine geringfügige Steigerung des Energieumsatzes gegenüber der "Entlastung" festzustellen. Ab Stufe VI (Abb. 12) fand man auf allen Stufen der "Halbbelastung" den höchsten Arbeitsumsatz bei "großen aktiven Beinbewegungen" (c) mit Werten um 3 METS (Tab. I). Bei Oberkörperdreh- und -beugebewegungen (h) wurden nur geringfügig niedrigere Werte gemessen. Deutlich geringere Belastungen (um 1,6 - 2,1 METS) lagen bei"aktiven Fußbewegungen" (a) und "großen aktiven Armbewegungen" (e) vor.

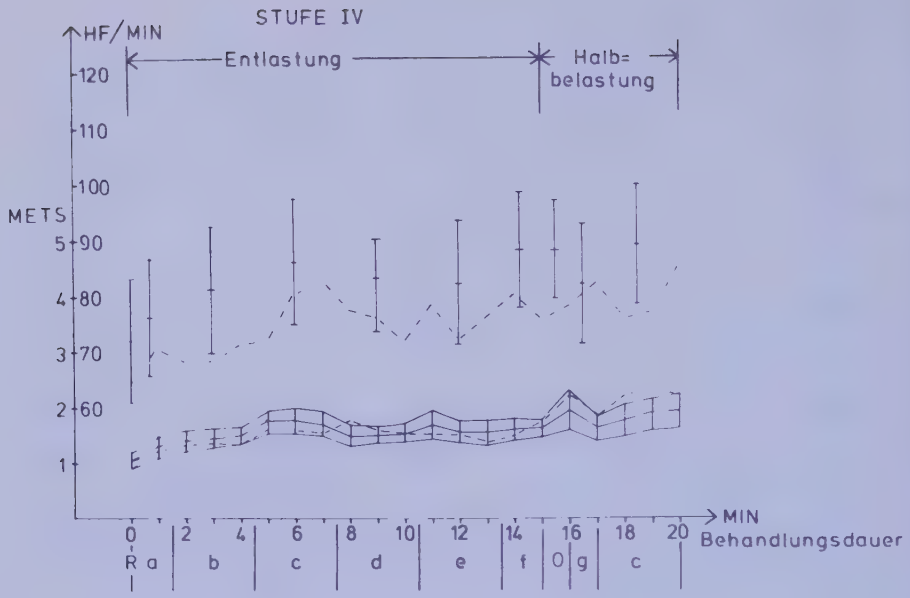

STUFE IV
HF/MIN
Entlastung
Halb=
belastung
120
110
100
METS
5
90
4
80
3
70
2
60
1
E
MIN
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Behandlungsdauer
R a
b
c
d
e
f
O
g
c

Abb. 10

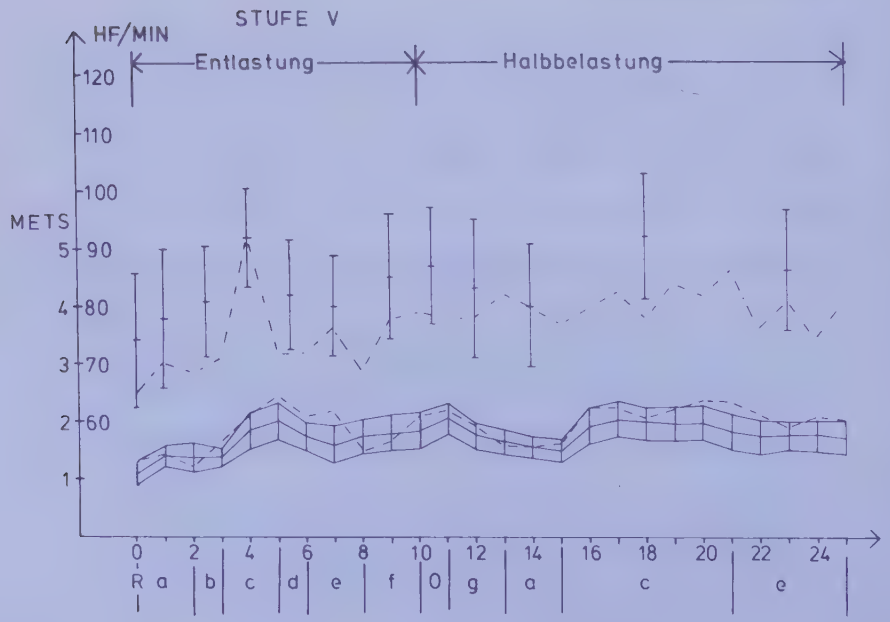

STUFE V
HF/MIN
Entlastung
Halbbelastung
120
110
100
METS
5
90
4
80
3
70
2
60
1
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
R a
b
c
d
e
f
O
g
a
c
e

Abb. 11

Im Stufenvergleich ließ sich eine Zunahme des maximalen Arbeitsumsatzes von Stufe IV auf VI, sowie von VI auf VIII feststellen (Abb. 6, Abb. 18, Tab. I).
Bei den Stufen XI und XII war die Intensität der Belastung bei Übungen im Sitzen deutlich geringer. - Die Abweichungen vom Ruhewert waren statistisch zu sichern. ($\alpha = 0{,}05$). Signifikante Differenzen konnten in der "Halbbelastung" zwischen den Stufen IV und X, V und X und VII und X nachgewiesen werden.

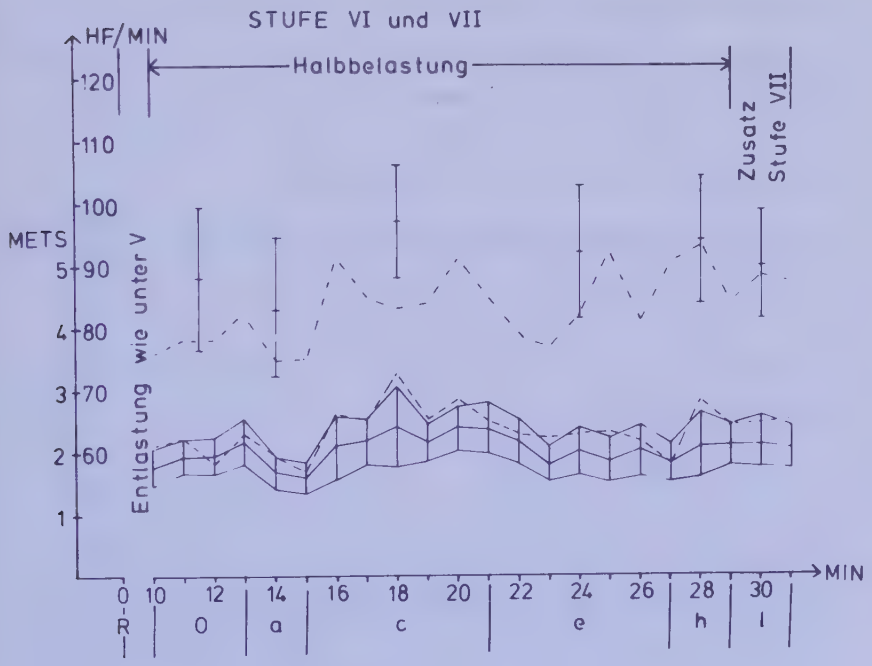


Abb. 12

c) "Vollbelastung"

Auf den Stufen VII bis X stieg in der "Vollbelastung" bei den Übungsteilen "Aufstehen und Hinsetzen" (i,k) und "Gehen in langsamem Tempo" (l) der Energieumsatz gegenüber der "Halbbelastung" nicht an. Erst auf Stufe XI brachte das "Gehen mit Tempovarianten" (m) (Abb. 16) einen deutlichen Belastungsanstieg um 1,09 METS auf einen Wert um 3,8 METS gegenüber dem Maximalwert auf Stufe X. Das anschließende "Treppensteigen" (n) erforderte nahezu den gleichen Energieaufwand. Auf Stufe XII war eine weitere geringfügige Steigerung des maximalen Energieumsatzes um 0,13 METS gegenüber den Maximalwerten auf Stufe XI bei "Gehen mit Tempovarianten" (m) zu beobachten. Hierbei wurde auch der höchste Energieaufwand von 3,89 $\pm$ 1,0 METS im gesamten Übungsprogramm festgestellt.

Der Anstieg der Maximalwerte in der "Vollbelastung" (Abb. 6, Abb. 18, Tab.I) gegenüber Ruhe war statistisch signifikant. Ebenso konnten die Differenzen zwischen den Stufen VII und XI, VII und XII, VIII und XI sowie VIII und XII gesichert werden ($\alpha = 0,05$).

d) Orthostatische Belastung

Bei der orthostatischen Belastung ab Stufe IV wurde ein Energieumsatz festgestellt, der deutlich über den Werten bei "Entlastung" lag. Es zeigte sich ein langsamer Anstieg bis Stufe VI, ein Gleichbleiben auf Stufe VII und ein erneuter Anstieg des Energieverbrauchs bis Stufe IX. Ab Stufe X waren keine weiteren Veränderungen festzustellen.

Bei zwei VP fiel auf, daß der metabolische Umsatz bei der orthostatischen Belastung (Aufsitzen) auf den Stufen IV

und V deutlich höhere Werte zeigte als die anschließende Übungsbehandlung in "Halbbelastung" (Tab. VIII).
Dieser auffällige Befund konnte bei sechsmaliger Wiederholung bei denselben VP bestätigt werden.

Tab. VIII

Stufe	max. Energieverbrauch in den Belastungsphasen	Versuchspersonen H. S.	Versuchspersonen A. S.	Mittelwerte der 10 Versuchspersonen
IV	O	2,35 METS	2,05 METS	1,91 METS
	H	1,70 METS	1,70 METS	1,95 METS
V	O	2,14 METS	2,11 METS	2,03 METS
	H	1,82 METS	2,04 METS	2,04 METS

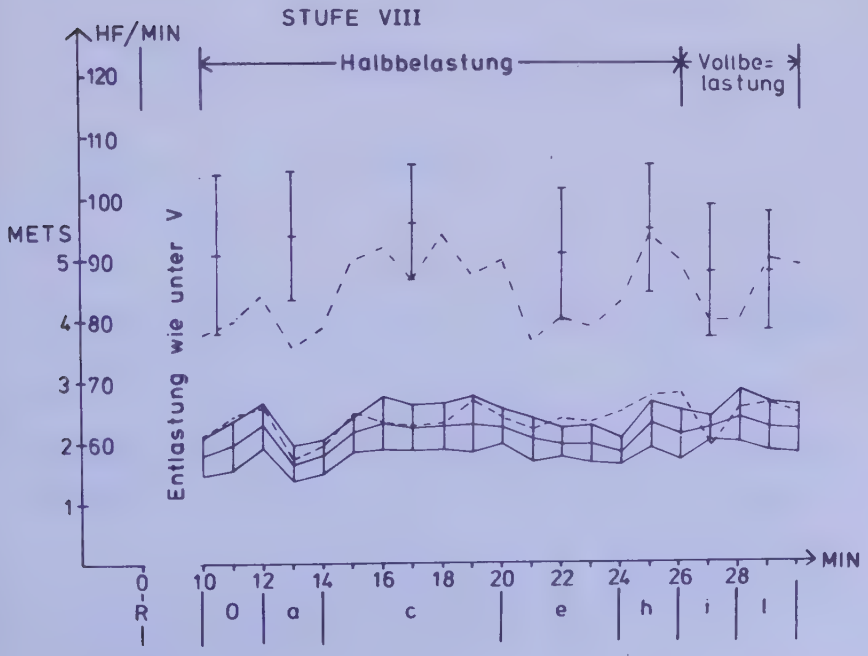


Abb. 13

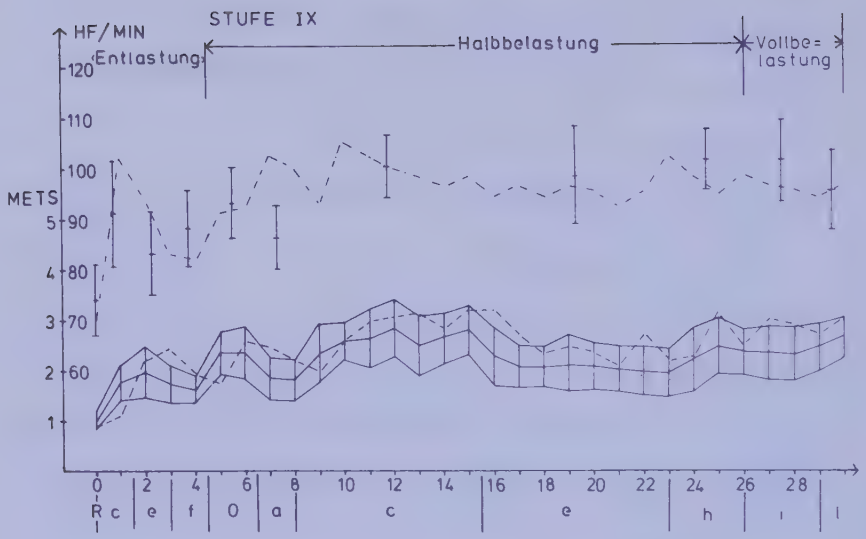

STUFE IX
HF/MIN
Entlastung
Halbbelastung
Vollbe=
lastung
120
110
100
90
80
70
60
METS
5
4
3
2
1
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28
R c e f 0 a c e h i l

Abb. 14

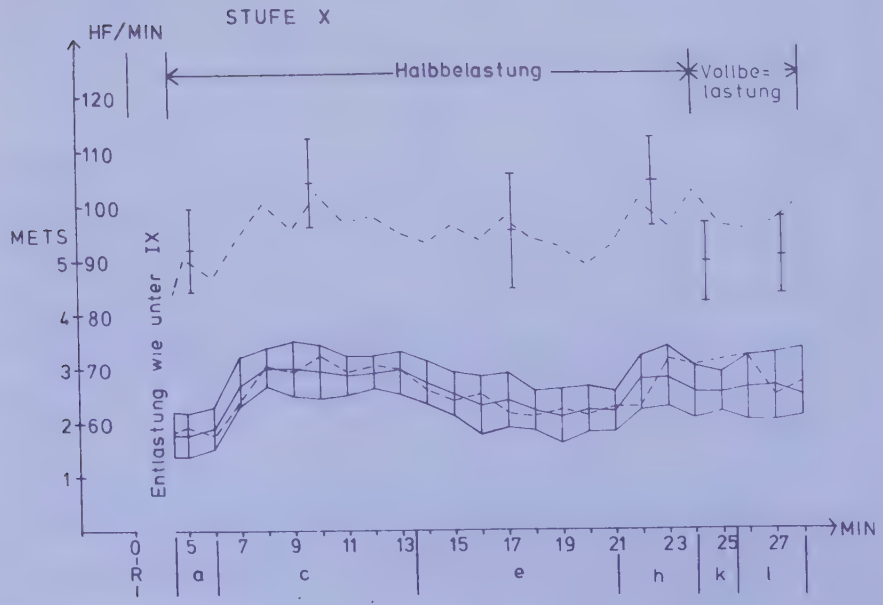

STUFE X
HF/MIN
Halbbelastung
Vollbe=
lastung
120
110
100
90
80
70
60
METS
5
4
3
2
1
Entlastung wie unter IX
MIN
0 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27
R a c e h k l

Abb. 15

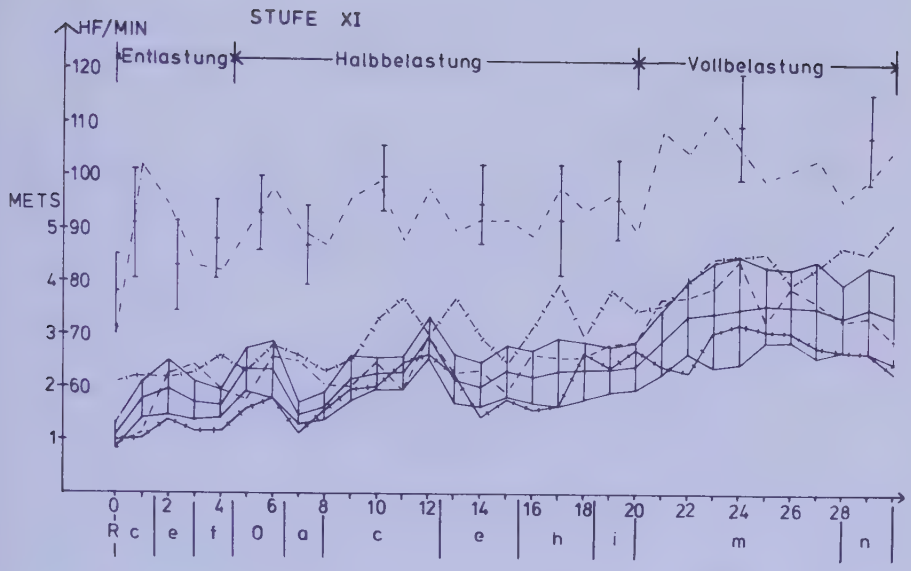


Abb. 16

Bei einem Infarktpatienten wurde auf Stufe XI kontinuierlich das Herzfrequenzverhalten -|-|-|-|- und der Arbeitsumsatz +—+—+—+ gemessen. Die Werte wurden in diese Abbildung zusätzlich eingetragen.

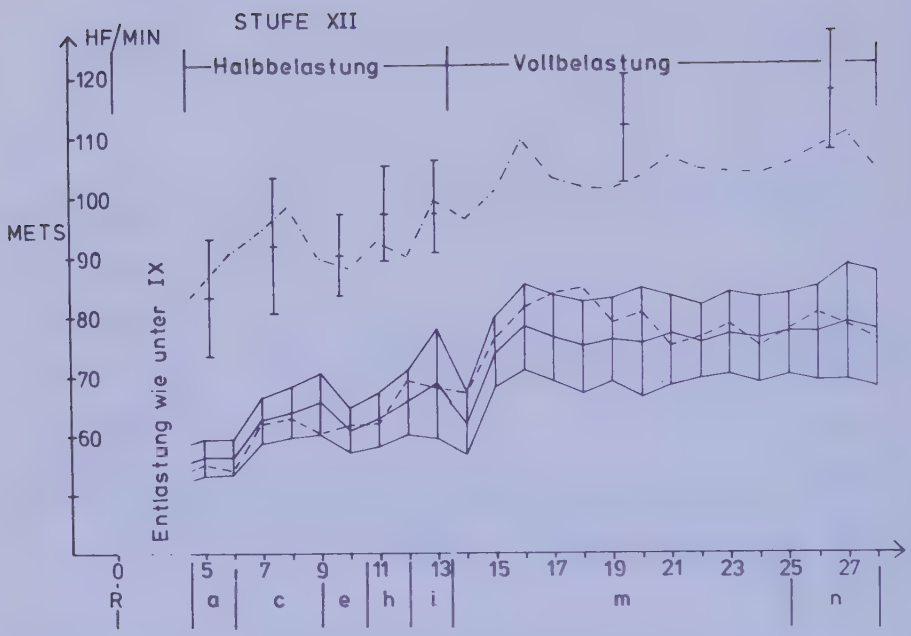


Abb. 17

III.1.2 Maximale Energieumsätze bei Belastungsstufen

Betrachtete man den auf jeder Stufe erreichten maximalen Energieverbrauch in METS (Abb. 18, treppenförmige Kurve) unabhängig von der Art der körperlichen Betätigung, so ergab sich eine ständige Zunahme mit Ausnahme der Stufen VI, VII und VIII. Die größten Anstiege wurden zwischen den Stufen X und XI erreicht. Bis Stufe X fanden sich die Maximalwerte in der "Halbbelastung", ab Stufe XI in der "Vollbelastung".

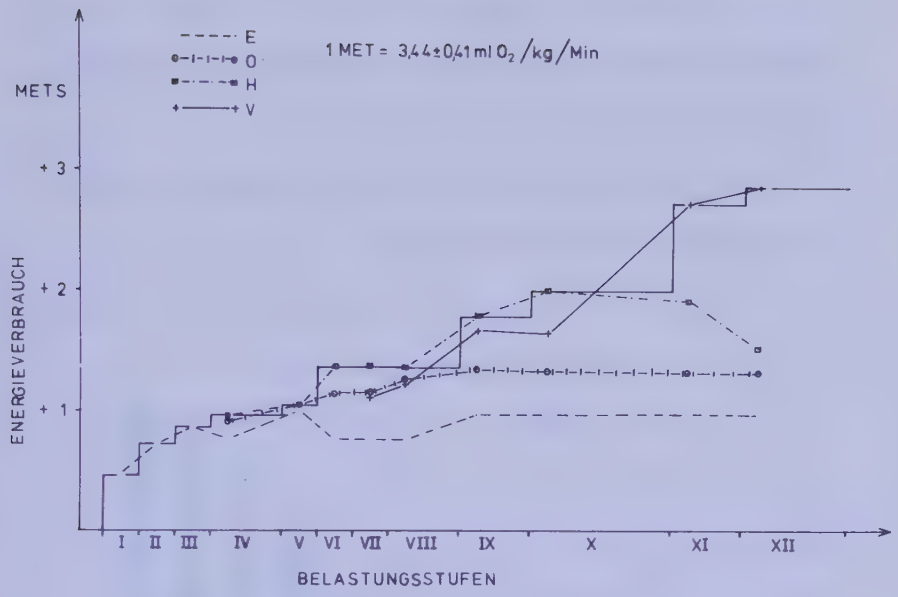


Abb. 18

Durchschnittliche Zunahme im maximalen Energieverbrauch (Ordinate) bei Übungen in der "Entlastung" (E), "Halbbelastung" (H), "Vollbelastung" (V) sowie unter Einfluß orthostatischer Belastung (O) auf den Belastungsstufen (Abszisse).

Treppenförmige Kurve = Mittelwerte der bei jeder Mobilisationsstufe erreichten maximalen MET - Werte.

III.1.3 Belastungsdauer, Belastungsintensität und gesamter Arbeitsumsatz

Der gesamte Energieaufwand auf den einzelnen Belastungsstufen ist graphisch in Abb.19 dargestellt. Es ist ein angenähert linearer Anstieg von Stufe I - XII festzustellen, der nur durch eine stärkere Zunahme zwischen den Stufen VIII und IX unterbrochen wird.

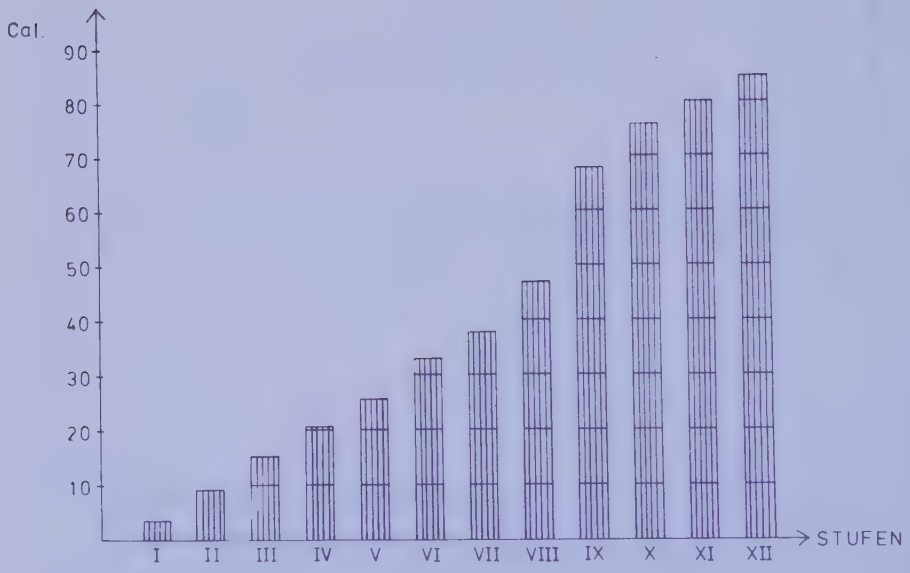


Abb. 19 Gesamtarbeit in Cal. (Ordinate) auf den einzelnen Belastungsstufen des Übungsprogramms (Abszisse).

Das Übungsprogramm sieht eine Zunahme der körperlichen Belastung zum einen durch Erhöhung der Belastungsdauer, zum anderen der Belastungsintensität vor. So wird die

Behandlungszeit von 10 Minuten auf Stufe I bis auf 30 Minuten ab Stufe VI erhöht. Weiterhin verschiebt sich das Verhältnis Arbeitszeit : Erholungszeit im Übungsprogramm. Auf den Stufen I bis IV beträgt es 0,5 : 1 Minute, auf den Stufen V bis VIII 1 : 1 Minute und auf den Stufen IX bis XII 1 : 0,5 Minuten. Daraus läßt sich teilweise die in Abb. 19 dargestellte Zunahme des gesamten energetischen Umsatzes unter Arbeit erklären. Die auffällig starke Zunahme des gesamten kalorischen Umsatzes von Stufe VIII auf IX ist bei identischer Gesamtbehandlungszeit auf die verkürzte Erholungszeit auf Stufe IX zurückzuführen.
Durch Einsatz zunehmen größerer Muskelmassen wird die Intensität der Belastung gesteigert. In Abb. 20 wurde dargestellt, wie lange die Probanden auf den einzelnen Übungsstufen mit einer bestimmten Belastungsintensität arbeiten.

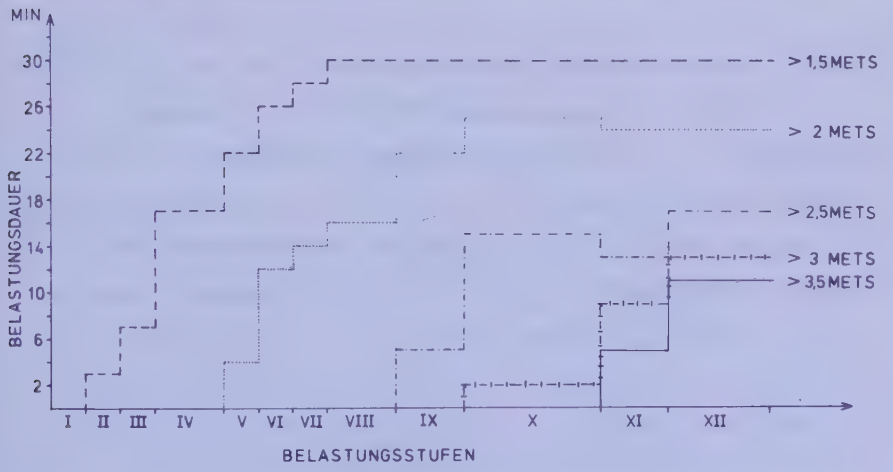


Abb. 20 Dauer der Belastungen mit bestimmter Intensität (Ordinate) auf den einzelnen Belastungsstufen (Abszisse) (s.Text).

Daraus ergibt sich, daß von Stufe I bis IV zunehmend länger mit Intensitäten von $>1,5$ aber $<2,0$ METS belastet wurde. Ab Stufe V bis VIII erhöhte sich die Intensität auf Werte von >2 aber $<2,5$ METS. Sie wurde zunehmend länger beibehalten. Auf Stufe IX lagen die Umsatzwerte erstmals für 5 Minuten zwischen 2,5 und 3 METS. Eine weitere Steigerung des Belastungsniveaus auf $>3,5$ METS war auf Stufe XI zu registrieren. Auf Stufe XI wurden kürzere Zeiten mit Intensitäten >2 und $<2,5$ METS sowie >3 und $<3,5$ METS gearbeitet. Auf Stufe XII fand sich nochmals eine Steigerung der Arbeitsdauer für Belastungen mit $>3,5$ METS.

III.2 Herzfrequenz und energetischer Umsatz während der Belastung

III.2.1 Herzfrequenz bei Belastungsphasen

Die Mittelwerte der Ruheherzfrequenzen lagen zwischen $72 \pm 11,2$ / Minute und $78 \pm 6,7$ / Minute (Abb. 21, Tab. II).

Wie man aus dem Verhalten der kontinuierlich bestimmten Herzfrequenzwerte der Versuchsperson E. A. ersehen konnte, war eine gute Übereinstimmung mit dem Energieumsatz vorhanden. Jeder Schwankung der MET - Werte stand eine gleichsinnige Schwankung der Herzfrequenz gegenüber. Die ermittelten Maximalwerte in den einzelnen Übungsteilen ließen sich den mittleren maximalen Energieumsatzwerten zuordnen. Eine Frequenzzunahme von + 30 / Minute gegen-

über Ruhe wurde erstmals in der "Halbbelastung" auf Stufe X erreicht. Der größte Anstieg gegenüber der Ruheherzfrequenz betrug + 38 / Minute beim "Gehen mit Tempovarianten" auf Stufe XII.

Eine fehlende Übereinstimmung zwischen Herzfrequenz und Energieverbrauch wurde bei der orthostatischen Belastung festgestellt. Im Gegensatz zum Energieverbrauch lagen die Herzfrequenzmittelwerte bei Lagewechsel auf den Stufen IV bis VIII unter den Werten bei Übungen in "Entlastung". Erst auf den Stufen IX bis XII wurden bei der orthostatischen Belastung geringfügig höhere Werte erreicht als in der "Entlastungsphase" dieser Stufen (Abb. 21, Abb. 22, Tab. II).

III.2.2 Verhalten der maximalen Herzfrequenzen bei Belastungsstufen

Das Verhalten der Herzfrequenzmaxima unabhängig von der Belastungsart (Abb. 22, treppenförmige Kurve) entsprach im Wesentlichen dem der maximalen MET - Werte. Es wurden mit Ausnahme der Stufen VI bis VIII Erhöhungen von Stufe zu Stufe festgestellt, eine Sicherung der Unterschiede zwischen den einzelnen Stufen war nicht möglich.

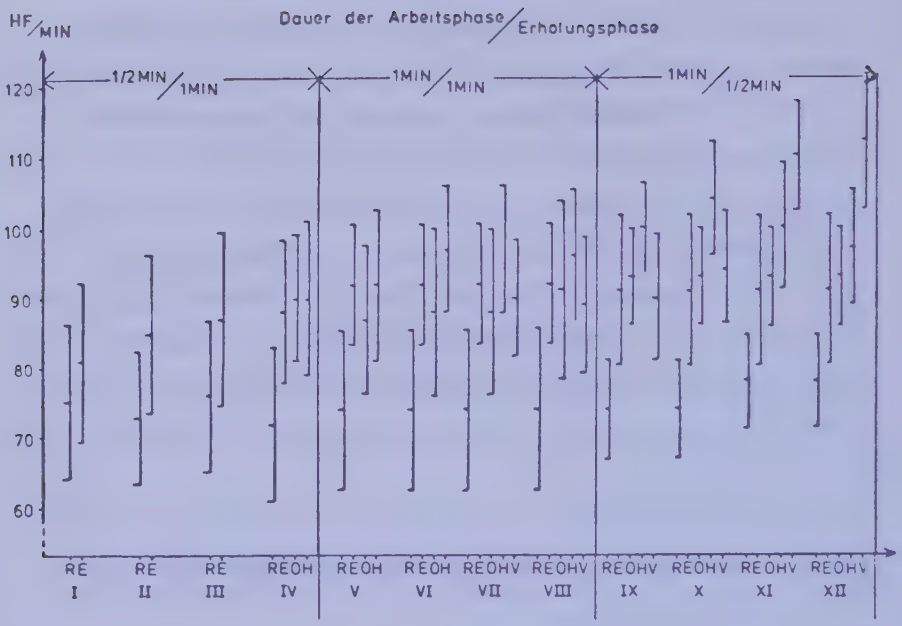


Abb. 21 Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenzen in Ruhe (R) und der maximalen Werte während der Übungsbehandlung (Ordinate) bei Übungen in "Entlastung" (E), "Halbbelastung" (H), "Vollbelastung" (V) sowie unter dem Einfluß orthostatischer Belastung (O) bei den Belastungsstufen (Abszisse).

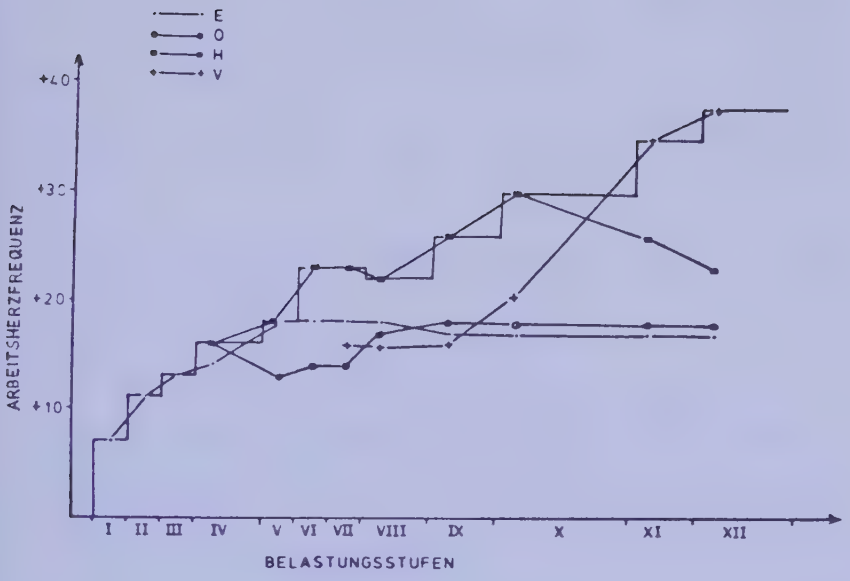


Abb. 22 Durchschnittliche maximale Herzfrequenzzunahme (Ordinate) bei Übungen in "Entlastung" (E), "Halbbelastung" (H), "Vollbelastung" (V) und unter orthostatischer Belastung (O) bei den Belastungsstufen (Abszisse).
Treppenförmige Kurve = Mittelwerte der bei jeder Mobilisationsstufe erreichten maximalen Herzfrequenzen.

III.3 Atemminutenvolumen, Sauerstoffausschöpfung und Sauerstoffverbrauch

Das Ruheatemminutenvolumen schwankte zwischen 6,9 ± 0,7 und 9,4 ± 1,2 l / Minute. Als maximales Atemminutenvolumen wurden 24,1 ± 1,8 l / Minute in der "Vollbelastung" auf Stufe XII erreicht (Abb. 23, Tab. III).

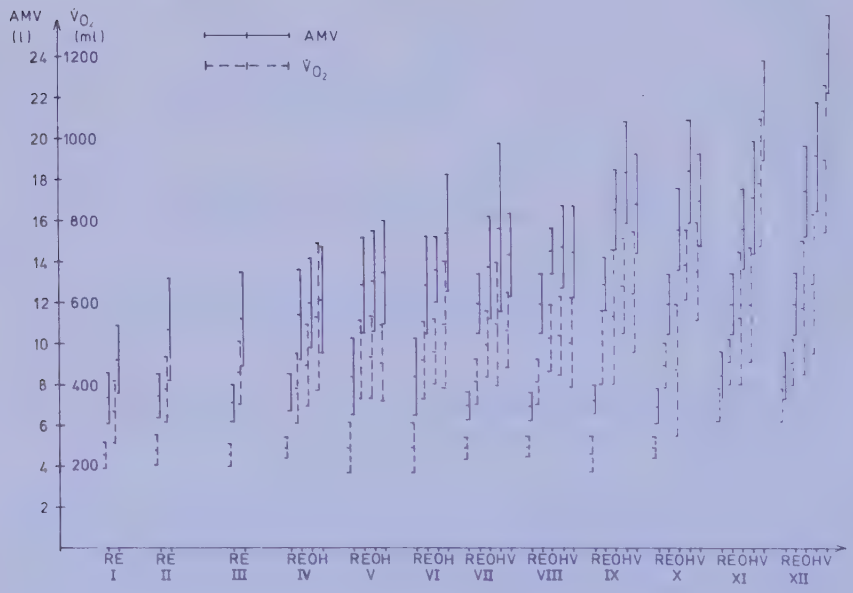


Abb. 23 Mittelwerte und Standardabweichungen von Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme (Ordinate) in Ruhe (R), sowie die Maximalwerte bei Übungen in der "Entlastung" (E), "Halbbelastung" (H), "Vollbelastung" (V) und unter orthostatischer Belastung (O) auf den Belastungsstufen des Übungsprogramms (Abszisse).

Die O_2-Ausschöpfung schwankte nur wenig (Tab. IV). Allgemein zeigte sich in Ruhe eine etwas geringere Ausschöpfung als unter Belastung (Tab. IV). Der Sauerstoffmehrbedarf wurde zu einem großen Teil über eine Erhöhung des Atemminutenvolumens gedeckt und nicht über eine erhöhte O_2-Extraktion aus der Inspirationsluft. Die O_2-Aufnahme lag in Ruhe auf Stufe I bei 227 $\pm$ 33 ml / Minute, bei der größten Belastung auf Stufe XII in "Vollbelastung" wurden 948 $\pm$ 178 ml / Minute erreicht (Abb. 23, Tab. V).

III.4 Befunde bei dem Infarktpatienten auf der Belastungsstufe XI

Der Energieverbrauch des Herzinfarktpatienten auf Stufe XI lag weitgehend innerhalb der einfachen Standardabweichung des Gesamtkollektives der 10 gemessenen Versuchspersonen (Abb. 16). Übereinstimmend mit den Versuchspersonen wurden maximale Umsätze in der "Vollbelastung" beim "Gehen mit Tempovarianten" (3,27 METS) erreicht. Die Herzfrequenz des digitalisierten Patienten lag sowohl in Ruhe wie auch bei Belastung unter dem Mittelwert der Versuchspersonen. Der Ruhewert betrug 56/Minute; auf Stufe XI erreichte der Patient eine Herzfrequenzzunahme von + 30/ Minute. Herzfrequenz und Energieumsatz verliefen nahezu synchron. Allerdings entsprach der Energieverbrauch beim "Gehen mit Tempovarianten" nicht dem Herzfrequenzmaximum, das erst beim Treppensteigen erreicht wurde.
Das Atemminutenvolumen lag bereits in Ruhe mit 12,5 l/ Minute deutlich über dem mittleren Ruheatemminuten-

volumen der 10 Versuchspersonen. In der "Vollbelastung" auf Stufe XII erreichte der Patient schließlich 34,8 l/ Minute. Auch die absoluten Sauerstoffaufnahmewerte des übergewichtigen Patienten waren deutlich höher als bei den gesunden Versuchspersonen. Der relative, auf das kg Körpergewicht bezogene O_2-Verbrauch entsprach jedoch den Werten der gesunden Versuchspersonen.

IV Diskussion

IV.1 Diskussion der Methode

IV.1.1 Gerät zur kontinuierlichen telemetrischen Bestimmung des Energieumsatzes

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde zur Bestimmung der Sauerstoffaufnahme und des Atemminutenvolumens das Oxycon P eingesetzt, ein Gerät, das bisher noch kaum bei klinischen Untersuchungen Verwendung gefunden hatte.- Schon 1911 bestimmte Douglas die O_2-Aufnahme bei verschiedenen Arbeitsformen und -belastungen, indem er die Exspirationsluft in großen Behältern sammelte und danach das Volumen und die Zusammensetzung der exspirierten Luft bestimmte (34). Mit geringfügigen Modifikationen ist diese Methode auch heute noch in Verwendung. Sie hat folgende Nachteile:

1) Zwischen den Meßperioden müssen mehr oder weniger große Sammelbehälter gewechselt werden. Dazu muß an Klappen, Stöpseln und Ventilen hantiert werden.

2) Die Bewegungsfreiheit ist durch das Tragen der Säcke begrenzt.

3) Die Schwankungen in der O_2-Aufnahme während einer Meßperiode werden ausgeglichen. Eine Reduzierung der Meßperiodendauer auf einminütige Abstände ist nur mit großem Aufwand möglich.

Neuere Methoden, wie sie vom Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie (Dortmund) nach früheren Modellen von

Zuntz, Kofranyi und Michaelis (1941) entwickelt wurden, basieren auf der direkten Messung des Volumens der Exspirationsluft mit Hilfe einer tragbaren Trockengasuhr (7, 34). Auch bei diesen Verfahren wird ein Teil der Exspirationsluft für die Gasanalyse gesammelt. Die dazu verwendeten Gummiblasen lassen CO_2 und O_2 in beträchtlichen Mengen in Abhängigkeit von der Partialdruckdifferenz diffundieren (34).

Mit dem von Bleeker und Hoogendorn entwickelten Gerät können sowohl AMV als auch O_2-Aufnahme kontinuierlich ermittelt werden, sodaß ein komplexer Ablauf, wie ihn z. B. ein krankengymnastisches Übungsprogramm darstellt, nicht in Einzelkomponenten unterteilt werden muß. Mit der telemetrischen Übertragung können außerdem, in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit des Senders und Empfängers, große Strecken überbrückt werden (5, 6, 7).

Zur Frage der Meßgenauigkeit der Anlage lagen nur wenige Ergebnisse vor. Die Gasuhr arbeitet nach demselben Prinzip wie die Max-Planck-Gasuhr, sodaß auch beim Oxycon P eine Meßgenauigkeit von $\pm$ 1 % bis zu einem AMV von 60 l angenommen werden kann (32, 34).

Die Atemwiderstände liegen nach Angaben des Herstellers bei bis zu 25 l Durchfluß pro Minute bei 0,75 cm Wassersäule, bis 50 l pro Minute bei 1,5 cm Wassersäule (32). Dies entspricht etwa den Atemwiderständen der Max-Planck-Gasuhr (34). Das würde bedeuten, daß bei den Durchflußwerten, die bei unseren Versuchen erreicht wurden, der Atemwiderstand unberücksichtigt bleiben kann. Erst bei

einem AMV von mehr als 50 l und einem Sekundenvolumen von mehr als 5 l treten beträchtliche Atemwiderstände auf (34).

Die Meßgenauigkeit der O_2-Meßzelle wurde von Bonjer (6) durch Anbringen eines Douglassacks am Ausgang des Oxycon P überprüft. Er gibt Abweichungen von $\pm$ 0,1 % O_2 an. Ausführliche Untersuchungen liegen von Thoma (43) vor, der den Oxycon P in Reihe mit einem Großmeßplatz der Firma Fenyves & Gut (CH - 4051 Basel, Leonhardstraße 26) schaltete. Beim Vergleich der Atemminutenvolumina und des Sauerstoffverbrauchs zwischen Oxycon P und Großmeßplatz wurden Korrelationen von + 0,988 bzw. + 0,967 gefunden. Lediglich bei sehr schnellen Anstiegen des Sauerstoffverbrauchs (Intervallversuche) um mehr als 200 ml pro Minute konnte ein langsameres Ansprechen des Oxycon P festgestellt werden. Dieses "Nachhinken" machte sich aber bei unseren Versuchen kaum bemerkbar, da keine abrupten Steigerungen des O_2-Verbrauchs in dieser Größenordnung vorkamen.

Methodische Fehlermöglichkeiten können sich aus dem Gerätegewicht von 6,4 kg ergeben. Nach E. M. Bedale ist die Beförderung mit Schultertrageriemen die energiesparendste Form der Fortbewegung eines Gewichts (zitiert nach 36). Bei einer Last von 21 kg wurde bei einer Gehgeschwindigkeit von 3 km/h eine Zunahme des Energieverbrauchs um 0,5 Cal/Minute festgestellt (36). Es ist zu erwarten, daß einem Gewicht von weniger als 1/3 dieser Last bei unseren Versuchen damit keine nennenswerte Bedeutung zukommt.

IV.1.2 Belastungsbeurteilung

Die Energieumsatzmessung mit Hilfe der indirekten Kalorimetrie, wie sie von uns durchgeführt wurde, beruht auf der stöchiometrischen Beziehung zwischen Substrat und dem verbrauchten Sauerstoff. Der Sauerstoffverbrauch ist also ein Maß für die geleistete Arbeit (34, 40).
Er ist abhängig von der Art des metabolisierten Substrates, den Körperdimensionen und der Art der Belastung.
Bei der Berechnung des Energieverbrauchs in Kalorien liegen die Schwierigkeiten darin, daß der RQ bzw. das Atemäquivalent, die hauptsächlich vom verstoffwechselten Nährstoff abhängen, nicht bekannt sind. Deshalb ist es korrekter, die O_2-Aufnahme als Maß des Energieumsatzes direkt anzugeben. Unterschiedliche Körperdimensionen lassen sich durch die Umrechnung auf das kg Körpergewicht berücksichtigen (34). Im angloamerikanischen Schrifttum wird vorgeschlagen, den Ruhesauerstoffverbrauch/kg/Minute als Grundlage für die Charakterisierung des Energieumsatzes zu verwenden, d. h. den Energieaufwand in ganzzahligen Vielfachen des Ruheumsatzes anzugeben, sodaß Unterschiede im Ruheenergieverbrauch berücksichtigt sind. Dieser wird von verschiedenen Autoren mit 3,5 - 4,0 ml O_2/kg/Minute angegeben (1, 18, 31, 38, 47). Die eigenen Werte liegen zwischen 3,44 $\pm$ 0,4 und 4,39 $\pm$ 0,6 ml O_2/kg/Minute im Liegen. Der Ruheumsatz wird als 1 MET (metabolic units) definiert. Um die von uns gewonnenen Ergebnisse auf Herzinfarktkranke übertragen zu können, muß die Voraussetzung bestehen, daß die Patienten sich in ihrem O_2-Verbrauch ge-

nauso verhalten wie gesunde, untrainierte Individuen. Dies wurde von Kellermann (30) an einigen hundert gesunden und infarktkranken Versuchspersonen nachgewiesen. Eine Übereinstimmung besteht bis zur aeroben Grenze. Außerdem zeigen Untersuchungen von Åstrand und anderen (2, 4, 10, 12, 34, 37), daß die auf das kg Körpergewicht bezogene O_2-Aufnahme bei untrainierten Personen verschiedenen Alters bei einer definierten submaximalen Belastung keine größeren Unterschiede aufweist.

Die gebräuchliche Abschätzung der Arbeitsbelastung aus der Arbeitsherzfrequenz ist für Ältere nur bedingt möglich, da selbst bei gesunden Personen über 60 Jahren keine gesicherte Relation zwischen Arbeitspulsfrequenz und Belastung besteht (20, 22, 34, 37, 40). Aufgrund der großen individuellen Streubreite wird von Hollmann (20, 22) sogar die Beurteilung der Belastung eines Menschen jenseits des 40. Lebensjahres anhand der Pulsfrequenz abgelehnt. Bestrebungen hierzu gingen vor allem von I. Åstrand aus, die ein Nomogramm zur Vorhersage der maximalen O_2-Aufnahme aus dem Verhalten der Arbeitsherzfrequenzen in submaximalen Belastungstests entwickelte (2, 4). Aber sogar alterskorrigierte Pulswerte weisen eine Standardabweichung von $\pm$ 10 Schlägen auf (31, 37). Bei Koronarpatienten kommt neben dem Alter und dem Trainingszustand vor dem Infarkt auch noch der myocardialen Schädigung eine zusätzliche, die Arbeitsherzfrequenz entscheidend beeinflußende Bedeutung zu (37, 39, 41).

Weiter ist zu berücksichtigen, daß wie Stegemann und andere Autoren nachweisen konnten (22, 39), bei der Arbeit kleiner Muskelgruppen von weniger als 1/6 bis 1/7 der Körpergesamtmuskulatur die Pulsfrequenz keine lineare Beziehung zur O_2-Mehraufnahme besitzt, da offenbar eine Rückkoppelung zwischen Körperperipherie und Herzfrequenz besteht, ohne daß der Gesamtenergieumsatz ansteigen muß. Dies ist bei einem krankengymnastischen Übungsprogramm mit minimalen Bewegungsexkursionen bei einzelnen Übungsteilen sicher von Bedeutung.

IV.2 Diskussion der Ergebnisse

Bei der Analyse eines krankengymnastischen Übungsprogramms muß berücksichtigt werden, daß die geleistete Arbeit im Unterschied zu Prüfstanduntersuchungen (z. B. Ergometerarbeit) sehr variabel sein kann. So stellten Weiß und Mitarbeiter (47) an ein und derselben Person für dieselbe Übung Unterschiede im Energieumsatz von 11,3 % fest. Außerdem beobachteten sie signifikante Differenzen für eine bestimmte Übung zwischen verschiedenen Personen (46). Auch bei unseren Untersuchungen variierte der Energieverbrauch zwischen den einzelnen Personen für die gleiche Übung um ca. 25 %.

Zum einen sind diese Unterschiede auf Übungseffekte zurückzuführen. Schon bei geringen Wiederholungszahlen von 20 bis 100 hintereinander durchgeführten Arbeitsbewegungen ist eine Verbesserung der Koordination zu erwarten (21). Das Bewegungsziel wird geradliniger, müheloser und präziser erreicht. Es müssen weniger Hilfsmuskeln eingesetzt werden. Damit nimmt der Wirkungsgrad der Arbeit zu, der Bewegungsvorgang wird ökonomischer (21, 34, 40).

Zum anderen sind Unterschiede im Trainingszustand der Versuchspersonen zu diskutieren, der sich in einem differenten O_2-Bedarf bei submaximaler Belastung für gleiche Übungen auswirken kann (21, 34).

Die bei Trainierten verbesserte Koordination wie auch Adaptationen im Metabolismus werden zu einem geringeren Energieverbrauch führen. Passmore und Durnin (36) konnten

jedoch nachweisen, daß bei einfachen Bewegungsabläufen, wie sie auch in dem untersuchten Programm vorlagen, die Differenzen zwischen Trainierten und Untrainierten bereits nach wenigen Wiederholungen ausgeglichen waren. Dies ist allein durch die Verbesserung der Koordination zu erklären.

Bei Infarktpatienten wird sich die mit zunehmendem Alter eingeschränkte Gelenkmotilität und das abnehmende Koordinationsvermögen (22) bemerkbar machen. Dies wurde von Jeschke (23) beim Vergleich von Herzinfarktpatienten verschiedener Altersgruppen bestätigt. Danach machten sich größere Unterschiede vor allem bei der Bett- und Hockergymnastik bemerkbar, bei der nicht alltägliche, ungewohnte Bewegungsabläufe erlernt und intensiv durchgeführt werden müssen.

Schließlich sind auch Unterschiede in der Bewegungsausführung zu berücksichtigen. Bei frei ausgeführten Bewegungen läßt sich die Größe der Bewegungsexkursionen und die Bewegungsintensität nicht so exakt festlegen wie auf einem Ergometer. Trotz dieser Einschränkungen berechtigen die gewonnenen Meßergebnisse zu folgenden Aussagen:

Von Stufe zu Stufe findet sich eine angenähert lineare Zunahme der Gesamtbelastung, was durch eine zweckmäßige Verlängerung der Belastungsdauer und Erhöhung der Belastungsintensität erzielt wird. Insbesondere wurde festgestellt, daß auch die Intensität kontinuierlich eine Erhöhung aufwies. Innerhalb der Programmschritte wurden keine abrupten Belastungsspitzen beobachtet, die bei Infarktkranken als gefährdend erachtet werden müßten. Bemerkenswert ist, daß die größte Belastung der Patienten sowohl im Liegen, wie

auch bei der Hockergymnastik durch "große aktive Beinbewegungen" erfolgte, was sich durch die Größe der aktivierten Muskelmasse erklärt. Bei der Übungsbehandlung im Gehen war auffälligerweise nicht das Treppensteigen, sondern das Gehen mit Tempovarianten am belastungsintensivsten.
Damit erfüllt das ursprünglich empirisch entwickelte krankengymnastische Übungsprogramm die Bedingungen einer stufenweise aufbauenden, dosierbaren Belastung.
Aufgrund unserer Einzeluntersuchungen wird man aber dem Lagewechsel der Patienten vermehrt Aufmerksamkeit widmen müssen. Bei 2 der 10 gesunden VP fanden sich beim Aufsitzen deutlich höhere Arbeitsumsätze als bei der vorausgegangenen oder anschließenden Übungsbehandlung. Da allen Versuchspersonen beim Lagewechsel die gleiche Hilfestellung gewährt wurde, ist dieser Befund nicht erklärbar und bedarf weiterer Klärung.
Die während den einzelnen Mobilisationsstufen ermittelten Belastungsgrößen stimmen mit den von Hellerstein (18) empfohlenen Werten, die in der ersten Woche nach dem Infarkt 1 - 2 METS betragen und während des restlichen Krankenhausaufenthaltes 2 - 3 METS nicht überschreiten sollen, gut überein. Unsere Werte liegen jedoch deutlich höher als die Belastungen, wie sie von Groh und Drasche (13) für krankengymnastische Behandlungen ermittelt wurden, und wie sie im Hamburger Modell (33) in der Frühmobilisation vorgesehen sind. Groh und Drasche ermittelten Belastungen von 5 - 20 Watt, was einem energetischen Mehrverbrauch von ungefähr 2 METS entspricht. Im Hamburger Modell wurden bis zur vierten Krankheitswoche nur Belastungen von 0 - 25 Watt (1 -

2,3 METS) vorschlagen. Höhere Energieumsatzwerte sind erst in der anschließenden Rehabilitationsphase mit 25 - 50 Watt (2,3 - 3,5 METS) für 3 - 6 Minuten vorgesehen. Diese Belastungen wurden in dem überprüften Frühmobilisationsprogramm schon am siebten Behandlungstag auf Stufe VI für fünf Minuten überschritten.

Zerlegt man unser Programm in Einzelübungen, so ergibt sich bei den minimalen Belastungen im Liegen (kleine aktive Fußbewegungen, Muskelmantelspannung der Beine, große aktive Beinbewegungen usw.) bei vergleichbaren Bewegungsabläufen eine gute Übereinstimmung mit Energieumsatzwerten von Weiß et al. (46). Bei Übungen in der "Halbbelastung" und "Vollbelastung" lagen dagegen unsere Werte höher, vor allem, wenn belastungsintensive Bewegungsabläufe anderer Muskelgruppen vorausgegangen waren. So fand sich bei unseren Untersuchungen gegenüber Weiß (46) ein deutlich höherer Energieumsatz für "große aktive Armbewegungen", die "großen aktiven Beinbewegungen" folgten.

Der Mehrbedarf erklärt sich durch die Deckung der Sauerstoffschuld (40). Er sollte deshalb bei der Zusammenstellung von Einzelübungen zu einem Behandlungsprogramm berücksichtigt werden. Unsere Untersuchungen zeigen, daß nur eine kontinuierliche Messung des Energieumsatzes eine volle Beurteilung eines krankengymnastischen Übungsprogramms erlauben. Aus der Kenntnis über die Belastungen für einzelne Übungsteile kann ein dosiertes Übungsprogramm nur mit Vorbehalten erstellt werden.

In der krankengymnastischen Praxis dient die Herzfrequenz zur Kontrolle der Belastungsintensität. Wie eingangs dar-

gestellt, erlaubt dieser Parameter nach Ansicht vieler Autoren (12, 20, 37, 40) keinen Rückschluß von der Arbeitsherzfrequenz auf den energetischen Aufwand gerade bei älteren Personen. Unsere Ergebnisse an einem Kollektiv, das aus jungen wie älteren Probanden bestand, ergaben aber eine gute Übereinstimmung des Herzfrequenzverhaltens mit dem Energieumsatz.

Beim Vergleich unserer Daten mit den von Jeschke (23, 27) an Infarktkranken gewonnenen Ergebnissen war keine Diskrepanz festzustellen. Die klinische Bedeutung der Herzfrequenz zur Kontrolle des Mobilisationsprogramms ist damit gerechtfertigt.

Das in der Praxis angewandte Mobilisationsprogramm sieht eine Koppelung der krankengymnastischen Übungsbehandlung mit den Eigenaktivitäten des Patienten vor.

Die ohne Kontrolle von Krankengymnastin oder Arzt durchgeführten selbständigen körperlichen Belastungen des Alltages werden in festgelegtem Umfang erst erlaubt, wenn unter der Übungsbehandlung keine kardiovaskulären Komplikationen auftreten. Es sollte aber gewährleistet sein, daß die Belastung durch die Eigenaktivitäten denen im Übungsprogramm entspricht, was von Tolis et al. (44) als "equicaloric concept" bezeichnet wurde. Um diese Forderung zu überprüfen, wurde der Energieverbrauch bei alltäglichen Belastungen nach Untersuchungsergebnissen von Passmore, Durnin und anderen (13, 18, 36, 44) berechnet und mit den im krankengymnastischen Übungsprogramm auftretenden maximalen Belastungen verglichen (Tab. IX). Demnach erfordern die Eigenaktivitäten keinen größeren maximalen Energieauf-

wand als die krankengymnastischen Übungen. Eine Überforderung der Patienten während den Eigenaktivitäten kann mit Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Abschließend soll die Frage diskutiert werden, ob bei dieser Bewegungstherapie Reizschwellen überschritten wurden, die zu Anpassungserscheinungen am Organismus führen. Die Belastungen sind vorwiegend dynamischer Art, mit geringer Intensität und großer Reizhäufigkeit. Schon ab Stufe III werden regelmäßig Muskelgruppen von mehr als 1/6 bis 1/7 der Gesamtmuskulatur eingesetzt. Damit sind Trainingsbedingungen für lokale und allgemeine aerobe Ausdauerverbesserungen geschaffen. Während die Reizschwelle für lokale aerobe Ausdauer aber bereits durch Belastungen mit geringer Intensität erreicht wird, muß bei einer allgemeinen Ausdauerverbesserung mindestens 50 % der maximalen Kreislaufbelastungsfähigkeit für drei Minuten überschritten werden (20, 21, 22). Nur auf den Stufen XI und XII werden in der Maximalbelastung diese Grenzwerte erzielt (37). Auf allen anderen Stufen liegt die Belastung unter diesem Schwellenwert im Bereich des zwei- bis dreifachen Ruheenergieumsatzes. Damit ist das bewegungstherapeutische Programm zur Verbesserung der lokalen aeroben Kapazität, kaum jedoch zur Verbesserung der allgemeinen aeroben Ausdauer geeignet.

Die ständige Wiederholung der Bewegungsabläufe führt außerdem über die Verbesserung der Koordination zu einer peripheren Ökonomisierung und damit zu einer kardialen Entlastung.

Tabelle IX

Stufe	Eigenaktivitäten	maximaler Energiebedarf	maximaler Energieverbrauch in der Krankengymnastik
I	Selbständiges Essen in halbsitzender Position	1,4 Cal (44) 1,5 Cal (36)	1,5 ± 0,2 Cal
II	Zusätzlich selbständiges Waschen und Rasieren in halbsitzender Position	wie oben	1,7 ± 0,2 Cal
IV	Waschen, Rasieren und Essen in vollsitzender Körperhaltung	1,6 - 2,0 Cal (36)	2,0 ± 0,3 Cal
V	Waschen, Rasieren, Essen am Bettrand mit gewickelten Beinen. Defäkation auf dem Nachtstuhl mit Unterstützung.	2,0 Cal (13) (36)	2,0 ± 0,3 Cal
VI	Selbständiges Aufsuchen des Nachtstuhles neben dem Bett	wie oben	2,4 ± 0,7 Cal
VIII	Selbständiges Aufsuchen einer nahegelegenen Toilette	wie oben	2,4 ± 0,4 Cal

Tabelle IX - Fortsetzung

Stufe	Eigenaktivitäten	maximaler Energiebedarf	maximaler Energieverbrauch in der Krankengymnastik
IX	Selbständiges Waschen, sitzend am Waschbecken im Zimmer. Einnahme der Mittags- und Abendmahlzeit am Tisch.	2,5 Cal (18) (44)	2,8 ± 0,6 Cal
X	Selbständiges Aufsuchen einer entfernter gelegenen Toilette, freier Aufenthalt im Zimmer für 1 - 2 h.	wie oben	3,0 ± 0,4 Cal
XI	Freies Bewegen für 2 - 4 h außerhalb des Zimmers auf der Station	3,6 Cal (36, 44) (Gehen mit 4 km/h)	3,8 ± 0,8 Cal
XII	Freies Bewegen für 4 - 5 h in der Klinik bzw. im Klinikgarten	wie oben	3,9 ± 1,0 Cal

V Zusammenfassung

An 10 gesunden Versuchspersonen (Durchschnittsalter 35,5 Jahre) und einem Infarktkranken wurde die Größe der körperlichen Belastung durch ein detailliertes, 12-stufiges krankengymnastisches Übungsprogramm, das zur Mobilisation von Herzinfarktpatienten dient, mit Hilfe der indirekten Kalorimetrie analysiert. Es wurden telemetrisch das exspiratorische Atemminutenvolumen, die Sauerstoffaufnahme und die Herzfrequenz kontinuierlich bestimmt.

Es konnte ein stufenförmiger Anstieg der Arbeitsbelastung und der Arbeitsintensität festgestellt werden. Innerhalb der einzelnen Belastungsstufen waren keine Belastungsspitzen zu registrieren. Das nach Art eines Intervalltrainings aufgebaute Übungsprogramm erfüllte durch zunehmende Verlängerung der Arbeitszeit gegenüber der Erholungszeit, durch zunehmende Verlängerung der gesamten Belastungsdauer und durch Steigerung der Belastungsintensität die Forderung einer dosierbaren krankengymnastischen Behandlung mit steigendem Belastungsumfang. Das Verhalten der Arbeitsherzfrequenz entsprach dem Energieumsatz. Die im Mobilisationsprogramm vorgesehenen Eigenaktivitäten entsprachen in der physischen Belastung denen der Bewegungstherapie auf den jeweiligen Behandlungsstufen.

VI Tabellenanhang

Tabelle I

Energieverbrauch in METS im Verlauf der Mobilisation in Ruhe und bei Belastung.

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
I	R	1,00		10
	E	1,46	0,2	10
II	R	1,05	0,2	10
	E	1,87	0,2	10
III	R	1,00	0,1	10
	E	1,87	0,2	10
IV	R	1,06	0,1	10
	E	1,77	0,2	10
	O	1,91	0,3	10
	H	1,95	0,3	10
V	R	1,08	0,2	10
	E	2,00	0,3	10
	O	2,03	0,3	10
	H	2,04	0,3	10
VI	R	1,08	0,1	10
	E	1,77	0,2	10
	O	2,16	0,4	10
	H	2,39	0,7	10
VII	R	1,08	0,1	10
	E	1,77	0,2	10
	O	2,16	0,4	10
	H	2,38	0,7	10
	V	2,12	0,4	10

Tabelle I - Fortsetzung

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
VIII	R	1,08	0,1	10
	E	1,77	0,2	10
	O	2,26	0,4	10
	H	2,39	0,4	10
	V	2,21	0,4	10
IX	R	1,08	0,2	10
	E	1,98	0,5	10
	O	2,35	0,5	10
	H	2,81	0,6	10
	V	2,68	0,4	10
X	R	1,08	0,2	10
	E	1,98	0,5	10
	O	2,35	0,5	10
	H	3,02	0,4	10
	V	2,67	0,6	10
XI	R	1,27	0,2	10
	E	1,98	0,5	10
	O	2,35	0,5	10
	H	2,95	0,4	10
	V	3,76	0,8	10
XII	R	1,27	0,2	10
	E	1,98	0,5	10
	O	2,35	0,5	10
	H	2,54	0,5	10
	V	3,89	1,0	10

Tabelle II

Herzfrequenz im Verlauf der Mobilisation in Ruhe und bei Belastung.

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
I	R	75	10,9	10
	E	81	11,4	10
II	R	73	9,6	10
	E	85	11,4	10
III	R	76	10,8	10
	E	87	12,4	10
IV	R	72	11,2	10
	E	88	10,4	10
	O	90	9,2	10
	H	90	11,2	10
V	R	74	11,5	10
	E	92	8,7	10
	O	87	10,6	10
	H	92	10,8	10
VI	R	74	11,5	10
	E	92	8,7	10
	O	88	11,9	10
	H	97	9,1	10
VII	R	74	11,5	10
	E	92	8,7	10
	O	88	11,9	10
	H	97	9,1	10
	V	90	8,3	10

Tabelle II - Fortsetzung

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
VIII	R	74	11,5	10
	E	92	8,7	10
	O	91	12,8	10
	H	96	9,4	10
	V	89	9,6	10
IX	R	74	7,0	10
	E	91	10,6	10
	O	93	6,9	10
	H	100	6,3	10
	V	90	7,8	10
X	R	74	7,0	10
	E	91	10,6	10
	O	93	6,9	10
	H	104	8,1	10
	V	94	7,7	10
XI	R	78	6,7	10
	E	91	10,6	10
	O	93	6,9	10
	H	100	6,2	10
	V	110	7,6	10
XII	R	78	6,7	10
	E	91	10,6	10
	O	93	6,9	10
	H	97	8,1	10
	V	112	9,8	10

Tabelle III

Atemminutenvolumen in l im Verlauf der Mobilisation in Ruhe und bei Belastung.

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
I	R	7,4	1,2	10
	E	9,2	1,7	10
II	R	7,5	1,1	10
	E	10,7	2,5	10
III	R	7,1	0,9	10
	E	11,2	2,3	10
IV	R	7,6	0,9	10
	E	11,4	2,2	10
	O	12,0	2,2	10
	H	12,8	2,6	10
V	R	8,3	2,0	10
	E	12,8	2,4	10
	O	13,0	2,5	10
	H	13,4	2,5	10
VI	R	8,3	1,9	10
	E	12,8	2,4	10
	O	13,5	1,6	10
	H	15,3	2,8	10
VII	R	6,9	0,7	10
	E	11,9	1,5	10
	O	13,7	2,5	10
	H	15,6	4,1	10
	V	14,3	2,0	10

Tabelle III - Fortsetzung

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
VIII	R	6,9	0,7	10
	E	11,9	1,5	10
	O	14,5	1,1	10
	H	14,7	2,0	10
	V	14,4	2,3	10
IX	R	7,2	0,7	10
	E	12,9	1,3	10
	O	16,5	2,0	10
	H	18,3	2,5	10
	V	16,8	2,4	10
X	R	6,9	0,7	10
	E	11,9	1,5	10
	O	15,5	2,0	10
	H	18,3	2,5	10
	V	16,9	2,3	10
XI	R	9,4	1,2	10
	E	11,9	1,5	10
	O	15,5	2,0	10
	H	18,1	2,8	10
	V	22,3	2,4	10
XII	R	9,4	1,2	10
	E	11,9	1,5	10
	O	16,4	2,2	10
	H	19,1	2,6	10
	V	24,1	1,8	10

Tabelle IV

Sauerstoffausschöpfung im Verlauf der Mobilisation in Ruhe und bei Belastung.

Belastungsstufe		$\bar{x}$ %	N
I	R	3,1	10
	E	3,6	10
II	R	3,2	10
	E	3,7	10
III	R	3,2	10
	E	3,8	10
IV	R	3,2	10
	E	3,4	10
	O	3,7	10
	H	3,6	10
V	R	2,9	10
	E	3,6	10
	O	3,6	10
	H	3,4	10
VI	R	2,9	10
	E	3,6	10
	O	3,5	10
	H	3,5	10
VII	R	3,4	10
	E	3,4	10
	O	3,6	10
	H	3,5	10
	V	3,4	10

Tabelle IV - Fortsetzung

Belastungsstufe		$\bar{x}$ %	N
VIII	R	3,4	10
	E	3,4	10
	O	3,5	10
	H	3,5	10
	V	3,5	10
IX	R	3,2	10
	E	3,4	10
	O	3,4	10
	H	3,5	10
	V	3,7	10
X	R	3,4	10
	E	3,7	10
	O	3,6	10
	H	3,8	10
	V	3,7	10
XI	R	3,2	10
	E	3,4	10
	O	3,6	10
	H	3,3	10
	V	3,9	10
XII	R	3,2	10
	E	3,4	10
	O	3,3	10
	H	3,4	10
	V	3,8	10

Tabelle V

Sauerstoffverbrauch in ml im Verlauf der Mobilisation in Ruhe und bei Belastung.

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
I	R	227	33	10
	E	334	71	10
II	R	239	34	10
	E	389	79	10
III	R	227	27	10
	E	427	76	10
IV	R	242	25	10
	E	389	84	10
	O	444	99	10
	H	462	180	10
V	R	244	59	10
	E	458	96	10
	O	465	100	10
	H	453	93	10
VI	R	244	59	10
	E	458	96	10
	O	477	79	10
	H	544	154	10
VII	R	247	25	10
	E	404	50	10
	O	492	84	10
	H	545	149	10
	V	480	92	10

Tabelle V - Fortsetzung

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
VIII	R	247	25	10
	E	404	50	10
	O	512	82	10
	H	517	95	10
	V	501	108	10
IX	R	228	43	10
	E	444	90	10
	O	563	164	10
	H	640	114	10
	V	621	144	10
X	R	247	25	10
	E	444	50	10
	O	563	164	10
	H	689	84	10
	V	624	117	10
XI	R	297	40	10
	E	404	50	10
	O	563	164	10
	H	592	142	10
	V	890	153	10
XII	R	297	40	10
	E	404	50	10
	O	563	164	10
	H	594	171	10
	V	948	178	10

Tabelle VI

Sauerstoffaufnahme in ml / kg Körpergewicht / Minute im Verlauf der Mobilisation in Ruhe und bei Belastung.

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
I	R	3,44	0,4	10
	E	5,04	1,0	10
II	R	3,61	0,5	10
	E	5,95	1,2	10
III	R	3,44	0,5	10
	E	6,55	1,0	10
IV	R	3,65	0,4	10
	E	5,90	1,2	10
	O	6,57	1,2	10
	H	6,70	1,1	10
V	R	3,60	0,7	10
	E	6,80	1,1	10
	O	6,98	0,9	10
	H	7,02	1,0	10
VI	R	3,60	0,7	10
	E	6,08	1,1	10
	O	7,43	1,1	10
	H	8,22	1,8	10
VII	R	3,72	0,4	10
	E	6,09	0,8	10
	O	7,43	1,3	10
	H	8,22	2,2	10
	V	7,18	1,0	10

Tabelle VI - Fortsetzung

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
VIII	R	3,72	0,4	10
	E	6,09	0,8	10
	O	7,83	1,0	10
	H	7,96	0,8	10
	V	7,67	1,2	10
IX	R	3,60	0,5	10
	E	6,70	1,3	10
	O	7,95	1,1	10
	H	9,34	1,2	10
	V	9,26	1,5	10
X	R	3,72	0,4	10
	E	6,09	0,8	10
	O	7,95	1,1	10
	H	10,39	1,3	10
	V	9,30	1,8	10
XI	R	4,39	0,6	10
	E	6,09	0,8	10
	O	7,95	1,1	10
	H	8,86	1,3	10
	V	12,25	2,3	10
XII	R	4,39	0,6	10
	E	6,09	0,8	10
	O	7,95	1,1	10
	H	8,57	1,1	10
	V	12,98	2,1	10

Tabelle VII

Energieverbrauch in Cal. im Verlauf der Mobilisation in Ruhe und bei Belastung.

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
I	R	1,1	0,2	10
	E	1,7	0,4	10
II	R	1,2	0,3	10
	E	2,0	0,4	10
III	R	1,1	0,1	10
	E	2,1	0,4	10
IV	R	1,2	0,1	10
	E	2,0	0,4	10
	O	2,2	0,5	10
	H	2,8	0,9	10
V	R	1,2	0,3	10
	E	2,3	0,5	10
	O	2,3	0,5	10
	H	2,3	0,5	10
VI	R	1,2	0,3	10
	E	2,3	0,5	10
	O	2,4	0,4	10
	H	2,7	0,8	10
VII	R	1,2	0,1	10
	E	2,0	0,3	10
	O	2,5	0,4	10
	H	2,7	0,7	10
	V	2,4	0,5	10

Tabelle VII - Fortsetzung

Belastungsstufe		$\bar{x}$	s	N
VIII	R	1,2	0,1	10
	E	2,0	0,3	10
	O	2,6	0,4	10
	H	2,6	0,5	10
	V	2,5	0,5	10
IX	R	1,1	0,2	10
	E	2,2	0,5	10
	O	2,8	0,8	10
	H	3,2	0,6	10
	V	3,1	0,7	10
X	R	1,2	0,1	10
	E	2,2	0,3	10
	O	2,8	0,8	10
	H	3,5	0,4	10
	V	3,1	0,6	10
XI	R	1,5	0,2	10
	E	2,0	0,3	10
	O	2,8	0,8	10
	H	3,0	0,4	10
	V	4,5	0,8	10
XII	R	1,5	0,2	10
	E	2,0	0,3	10
	O	2,8	0,8	10
	H	3,0	0,9	10
	V	4,7	0,9	10

VII Literaturverzeichnis

1) AMERICAN COLLEGE OF SPORTSMEDICINE: Guidelines for graded exercise testing and exercise prescription. LEA & Felbinger, Philadelphia 1975

2) ÅSTRAND I.: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. Acta physiol. Scand. 149, Suppl. 196, 7 - 92 (1960)

3) ÅSTRAND P.-O., I. RHYMING: A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. J. appl. Physiol. 7, 218 - 221 (1954)

4) ÅSTRAND P.-O., K. RODAHL: Textbook of work physiology. Mc Graw - Hill Book Company, New York 1970

5) BLEEKER J.: Een draagbar apparaat voor het continu meten von het zuurstofverbruik zowel in rust als tijdens arbeid. TNO-niews 24, 658 - 661 (1961)

6) BLEEKER J., M. MOOGENDOORN: A portable apparatus for continuous measurement of oxygen consumption during work. Acta physio. pharmacol. Neerl. 15 (1969)

7) BONJER F.H.: Application of a portable apparatus for continuous registration of oxygen intake. Acta physiol. pharmacol. Neerl. 15 (1969).

8) BRUMMER P., E. LINKO, A. KASANEN: Myocardial infarction treated by early ambulation. Am. Heart J. 52, 269 - 272 (1956)

9) BRUMMER P., V. KALLIO, E. TALA: Early ambulation in treatment of myocardial infarction. Acta med. Scand. 180, 231 - 234 (1966)

10) DOMNICK G., G. HANSEN, H. MELLEROWICZ: Vergleichende Untersuchungen über das Verhalten verschiedener kardiopulmonaler Leistungsfunktionen bei einer Standardleistung am Ergometer von 1 Watt/kg Körpergewicht an 20 - 60 jährigen gesunden Frauen. Zeitschr. f. Kreislaufforsch. 56, 917 - 921 (1967)

11) EKELUND L.-G.: Central hemodynamics during ergometric exercise. 3. Internationales Seminar für Ergometrie, Berlin 1972. G. Hansen und H. Mellerowicz.

12) GADERMANN E., H. JUNGMANN, A. METZNER, B. SCHULZ: Zur Beurteilung der Belastbarkeit kreislaufkranker Patienten im Alter. Fortschr. Med. 87, 691 - 693 (1969)

13) GROH H., H. DRASCHE: Kann Krankengymnastik eine bedenkliche Belastung des Kranken bedeuten? Münch. med. Wschr. 109, 570 - 573 (1967)

14) HAVIAR V., R. MAYER: Ist eine langwierige Bettruhe bei der Behandlung des Herzinfarktes notwendig? Verh. dtsch. Ges. Kreisl.-Forsch. 34, 367 - 371 (1968)

15) HAVIAR V., J. POSTULKA, J. KASPER, V. LAUIKOVA, K. ZISKA: Did introduction of rehabilitation improve the course and prognosis of myocardial infarction? Vnitr. Lek. 21, 35 - 39 (1975)

16) HEINECKER R.: Frühmobilisation von Herzinfarktkranken. Dtsch. med. Wschr. 97, 581 - 582 (1972)

17) HEINECKER R.: Vor- und Nachteile der extremen Frühmobilisation nach Herzinfarkt. Med. Tribune 8, 21 (1973)

18) HELLERSTEIN H.K.: Exercise therapy in convalescence from myocardial infarction. Schweiz. med. Wschr. 103, 66 - 73 (1973)

19) FA. FRITZ HELLIGE & CO. GMBH, FREIBURG: Beschreibung und Bedienungsanleitung für Oxycon P. 23.8.1973

20) HOLLMANN W.: Körperliches Training als Praevention von Herz - Kreislauferkrankungen. Stuttgart: Hippokrates 1965

21) HOLLMANN W., TH. HETTINGER: Sportmedizin - Arbeits- und Trainingsgrundlagen. F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart - New York, 1976

22) HOLLMANN W., H. LIESEN: Der Trainingseinfluß auf die Leistungsfähigkeit von Herz, Kreislauf und Stoffwechsel im Alter. Münch. med. Wschr. 114, 1336 - 1342 (1972)

23) JESCHKE D.: Frühzeitige, dosierte Bewegungstherapie bei frischem Myocardinfarkt (Frühmobilisation). Habilitationsschrift, Fachbereiche Klinische Medizin, Universität Tübingen 1973.

24) JESCHKE D.: Bewegungstherapie bei frischem Myocardinfarkt. Sportwissenschaft 3, 361 - 373 (1973)

25) JESCHKE D.: Frühmobilisation von Herzinfarktpatienten unter telemetrischer Kontrolle. Therapiewoche 21, 3988 - 3992 (1971)

26) JESCHKE D., K. CAESAR: Koronartherapie ohne spezielle koronarwirksame Substanzen - Übungstherapie. Therapiewoche 22, 1 - 3 (1972)

27) JESCHKE D., K. CAESAR, R. HAASIS: Verhalten der maximalen Herzfrequenz bei Herzinfarktkranken unter frühzeitiger dosierter Körperbelastung. Med. Welt 23, 1135 - 1138 (1972)

28) JESCHKE D., K. CAESAR, W. KAUFMANN: Frühmobilisation von Herzinfarktkranken. Dtsch. med. Wschr. 97, 344 - 346 (1972)

29) KATILA M., M.H. FRICK: A two-year circulatory follow-up of physical training after myocardial infarction. Acta med. Scand. 187, 95 - 100 (1970)

30) KELLERMANN J.J.: Physical conditioning in patients after myocardial infarction. Schweiz. med. Wschr. 103, 79 - 85 (1973)

31) KOHN R.M.: Determinants of maximal performance. In: Zohmann L.R. and R.E. Phillips: Progress in cardiac rehabilitation. Thieme-Verlag, Stuttgart 1974.

32) KONIETZKO H., J. ELSTER: Leistungsbeurteilung durch telemetrische Messung des Atemminutenvolumens, der Sauerstoffaufnahme und der Herzfrequenz. Medizinalmarkt / Acta Medicotechnica 24, 50 - 53 (1975)

33) KRASEMANN E.O., H. BOCK, K. DONAT, H.-G. ILKER, G. LAUBINGER: Herzinfarkttraining am Wohnort, - Hamburger Modell. Münch. med. Wschr. 115, 449 - 453 (1973)

34) MELLEROWICZ H.: Ergometrie. Urban und Schwarzenberg, München - Berlin - Wien, 1975. 2. Auflage

35) NEWMAN L.B., M.F. ANDREWS, M.O. KOBLISH, L.A. BAKER: Physical medicine and rehabilitation in acute myocardial infarction. Arch. Int. Med. 89, 552 - 561 (1952)

36) PASSMORE R., J.V.G.A. DURNIN: Human energy expediture. Physiol. Rev. 35, 801 - 835 (1955)

37) REINDELL H., K. KÖNIG, H. ROSKAMM: Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens. Stuttgart: Thieme-Verlag 1967.

38) SHAH C.V., A.S. MANERIKAR: Short and simple program of cardiac rehabilitation following acute myocardial infarction. Indian Heart J. 26, 301 - 310 (1974)

39) SMITH W.W., N.S. WIKLER, A.C. FOX: Hemodynamic studies of patients with acute myocardial infarction. Circul. 9, 352 - 362 (1954)

40) STEGEMANN J.: Leistungsphysiologie. Thieme-Verlag, Stuttgart 1977. 2. Auflage.

41) STEIN E., A.N. DAMATO, B.D.KOSOWSKY, S.H. LAU, J.W. LISTER: The relation of heart rate to cardiavascular dynamics. Circul. 33, 925 (1966)

42) TAKKUNEN J., E. HUHTY, O. OILINKI, U. VUOPALA, W.J. KAIPAINEN: Early ambulation in myocardial infarction. Acta med. Scand. 188, 103 - 106 (1970)

43) THOMA S.: Vergleich einer spiroergometrischen Großanlage mit dem tragbaren Spiroergometriegerät Oxycon P. Inauguraldissertation. Fachbereich Klinische Medizin der Universität Tübingen, 1978. Arbeit noch im Druck.

44) TOBIS J.S., L.R.ZOHMAN: A rehabilitation program for inpatients with recent myocardial infarction. Arch. Phys. Med. & Rehab. 49, 443 - 448 (1968)

45) VARNAUSKAS E., H. BERGMAN, T. BJURÖ, E. HELANDER, L. MOGENSEN, H. SAENNE, G. TIBBLIN: Rehabilitering av hjätinfarktpatienter. Lakärtidningen 66, 2405 - 2426 (1966)

46) WEISS R.A.: Variability in energy cost of selected exercises, Project No. 374, Report No. 1, AAF School of Aviation Medicine, Randolph Field, Tex., Nov. 20, 1945.

47) WEISS R.A., P.V. KARPOVICH: Energy cost of exercise for convalescents. Arch. Phys. Med. 28, 447 (1947)

48) WHO - REPORTS 1 - 5:
1) The rehabilitation of patients with cardiovascular diseases. Report on a Seminar, Noordwijk aan Zee, 2-7 October 1967. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen,

2) A programme for the physical rehabilitation of patients with acute myocardial infarction, prepared by a working group, Freiburg i. Br., 1968. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
3) Psychological aspects of rehabilitation of coronary patients. Report on a working group Warsaw, 1969. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
4) Evaluation of rehabilitation methods for cardiovascular patients. Report on a working group, Brussels, 1969. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
5) Evaluation of physical programmes in the rehabilitation of patients with myocardial infarction, draft protocol prepared by an ad hoc meeting, Copenhagen, 1970. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

Lebenslauf

Am 10. April 1953 wurde ich, Hans-Eberhard Streich, als Sohn des kaufmännischen Angestellten Ernst Streich und der Renate geb. Bitzer in Ebingen geboren.

Im Frühjahr 1960 wurde ich in Ebingen eingeschult. Nach vierjährigem Grundschulbesuch trat ich im April 1964 in das mathematisch-naturwissenschaftliche Gymnasium in Ebingen ein. Am 6. Juni 1972 schloß ich meine Schulzeit mit dem Abitur ab.

Mit dem Medizinstudium, das ich ausschließlich an der Universität Tübingen absolvierte, begann ich im Wintersemester 1972/73. Im August 1974 habe ich die ärztliche Vorprüfung abgelegt. Es folgten 1975 der erste Abschnitt und 1977 der zweite Abschnitt der ärztlichen Prüfung. Am 18. Oktober 1978 beendete ich mit dem dritten Abschnitt der ärztlichen Prüfung mein Studium.

Seit Oktober 1976 bin ich mit Adelheid geb. Stark verheiratet.